(1) Meddel. Serie: Hydrogr.

LIBRARY
FISH & WILDLIFE SERVICE
PACIFIC OCEANIC FISHERY
INVESTIGATIONS

MEDDELELSER

FRA

KOMMISSIONEN FOR HAVUNDERSØGELSER

SERIE: HYDROGRAFI · BIND II

II

Nr. 7. J. P. Jacobsen: HYDROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN IM HANDERS FJORD (JYLLAND)

KØBENHAVN
I KOMMISSION HOS C. A. REITZEL
Trykt hos J. Jørgensen & Co. (Hjalt. Jørgensen)
1918

MEDDELELSER FRA KOMMISSIONEN FOR HAVUNDERSØGELSER.

Serie: Fiskeri.

Bd. I, Nr. 1 C. G. Joh. Petersen: On the larval and post-larval stages of the Long Rough Dab and the Genus Pleuronectes. 2 Plates. 1904. 13 p. Kr. 1.00.

» I, » 2 A. C. Johansen: Contributions to the biology of the Plaice with special regard to the Danish Plaice-Fishery I. 12 Plates. 1905. 70 p. Kr. 5.25

» I, » 3 Johs. Schmidt: On pelagic post-larval Halibut (Hippoglossus vulgaris Flem. and H. hippoglossoïdes Walb.) 1 Plate. 1904. 13 p. Kr. 0.75.

» I, » 4 Johs. Schmidt: De atlantiske Torskearters (Gadus-Slægtens) pelagiske Yngel i de post-larvale Stadier. Med 3 Tavler og 16 Figurer. 1905. 74 S. Kr. 3.00.

» I, » 4 Johs. Schmidt: The pelagic post-larval stages of the Atlantic Species of Gadus. A Monograph with 3 Plates and 16 Figures in the Text. 1905. 77 p. Kr. 3.00.

» I, » 5 C. G. Joh. Petersen: Larval Eels. (Leptocephalus brevirostris) of the Atlantic coasts of Europe. 1905. 5 p.

» I, » 6 A. C. Johansen: Remarks on the life history of the young post-larval Eel (Anguilla vulgaris Turt.) 1904. 9 p. Kr. 0.50.

» I, » 7 Adolf Sev. Jensen: On fish-otoliths in the bottom-deposits of the Sea. I. Otoliths of the Gadus-Species deposited in the Polar Deep. 4 Fig. 1906. 14 p. Kr. 0.50.

» I, » 8 Johs. Schmidt: On the larval and post-larval stages of the Torsk (Brosmius brosme [Ascan]). 1 Plate. 1905. 12 p. Kr. 0.75.

» II, » 1 C. G. Joh. Petersen: On the larval and post-larval stages of some Pleuronectidæ (Pleuronectes, Zeugopterus.) 1 Pl. 1906. 10 p. Kr. 0.50.

» II, » 2 Johs. Schmidt: The pelagic post-larval stages of the Atlantic species of Gadus. A monograph. Part II. 1 Pl. 1906. 20 p. Kr. 1.00.

» II, » 3 Johs. Schmidt: On the pelagic post-larval stages of the Lings (Molva molva [Linné] and Molva byrkelange [Walbaum]). With 1 Pl. and 3 figures. 1906. 16 p. Kr. 0.75.

» II, » 4 Johs. Schmidt: On the larval and post-larval development of the Argentines (Argentina silus [Ascan.] and Argentina sphyræna [Linné]) with some Notes on Mallotus villosus [O. F. Müller]. 2 Pl. 1906. 20 p. Kr. 1.50.

» II, » 5 A. C. Johansen: Contributions to the biology of the Plaice with special regard to the Danish Plaice-Fishery. II. The marking and transplantation experiments with Plaice in the years 1903—06. 6 Pl. and 10 figures. 1907. 122 p. Kr. 5.25.

Bd. II, Nr. 6 Johs. Schmidt: Marking experiments on Plaice and Cod in Icelandic waters. 2 Charts. 23 p.

» II, » 7 Johs. Schmidt: On the post-larval development of the Hake (Merluccius vulgaris Flem.) 1 Pl., 4 Figures. 1907. 10 p. Kr. 1.75.

» II, » 8 Johs. Schmidt: On the post-larval development of some North Atlantic Gadoïs (Raniceps raninus [Linné] and Molva elongata [Risso]). 1 Pl. and 1 Fig. 1907. 14 p. Kr. 0.75.

» II, » 9 Johs. Schmidt: On the post-larval stages of the John Dory (Zeus Faber L.) and some other Acanthopterygian Fishes. 1 Plate. 1908. 12 p. Kr. 0.75.

» III, » 1 C. G. Joh. Petersen: On the larval and post-larval stages of some Pleuronectidæ (Zeugopterus, Arnoglossus, Solea.) 2 Plates. 1909. 18 p. Kr. 1.25.

» III, » 2 J. P. Jacobsen and A. C. Johansen: Remarks on the changes in specific gravity of pelagic fish eggs and the transportation of same in Danish waters. 2 Text-Figures. 1908. 24 p. Kr. 0.75.

» III, » 3 Johs. Schmidt: Remarks on the metamorphosis and distribution of the larvae of the Eel (Anguilla vulgaris Turt.) 1 Pl. and 1 Chart. 1909. 17 p. Kr. 1.00.

» III, » 4 A. C. Johansen: Contributions to the biology of the Plaice with special regard to the Danish Plaice-Fishery. III. On the variation in frequency of young Plaice in Danish waters in 1902—07. 12 Figures. 1908. 48 p. Kr. 1.50.

» III, » 5 A. C. Johansen: Do. do. do. IV. Is the Plaice indigenous to the true Baltic? 2 Fig. 1908. 23 p. Kr. 0.75.

» III, » 6 Johs. Schmidt: On the occurrence of Leptocephali (Larval Muraenoids) in the Atlantic W. of Europe. 2 Pl. & 1 Chart. 1909. 19 p. Kr. 1.50.

» III, » 7 Johs. Schmidt: On the distribution of the fresh-water Eels (Anguilla) throughout the world. I. Atlantic Ocean and adjacent regions. A bio-geographical investigation. 1 Chart. 1909. 45 p. Kr. 1.75.

» III, » 8 A. C. Johansen: Bericht über die dänischen Untersuchungen über die Schollenfischerei und den Schollenbestand in der östlichen Nordsee, dem Skagerak und dem nördlichen Kattegat. Mit 10 Figuren im Text. 1910. 142 S. Kr. 4.50.

» IV, » 1 A. C. Johansen: Contributions to the biology of the Plaice with special regard to the Danish Plaice-Fishery. V. The supposed migrations of plaice from the Kattegat and Belt Sea to the true Baltic. 5 Figures. 1912. 34 p. Kr. 1.25.

MEDDELELSER FRA KOMMISSIONEN FOR HAVUNDERSØGELSER
SERIE: HYDROGRAFI · BIND II · NR. 7 · 1918

HYDROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN IM RANDERSFJORD (JYLLAND)

VON

J. P. JACOBSEN

KØBENHAVN
I KOMMISSION HOS C. A. REITZEL
TRYKT HOS J. JØRGENSEN & CO. (IVAR JANTZEN).
1918

INHALT.

Seite

I. Einleitung 3
II. Das Beobachtungsmaterial in tabellarischer Darstellung 4
III. Uebersicht über das Beobachtungsmaterial. Mittlere Werte des Salzgehaltes, dargestellt in Tabellen und auf Karten 12
IV. Titrierungen aus der Gudenaa und dem Randersfjord nach Volhards Methode. Menge von Meersalz im Brachwasser 19
V. Die Ursachen der Schwankungen des Wasserstandes im Hafen von Randers 23
VI. Der Gezeitenstrom im Randersfjord und die dadurch verursachte Schwankung des Salzgehaltes 28
VII. Der stationäre Strom und die Verteilung des spezifischen Gewichtes; die Vermischung der Wasserschichten; Ausbreitung von pelagischen Organismen durch die Vermischung 40

I. Einleitung.

Gegenwärtige Arbeit über die hydrographischen Verhältnisse im Randersfjord beruht hauptsächlich auf Beobachtungen, die in engem Anschluss an biologische Untersuchungen angestellt wurden, welche Dr. phil. A. C. JOHANSEN im Fjord unternommen hat, und sowohl von der Anordnung meiner Untersuchungen als von der Bearbeitung des Beobachtungsmaterials ist vieles Dr. JOHANSENS Initiative zu verdanken. Ein Teil des Materials wurde auf zoologischen, botanischen und hydrographischen Beobachtungsreisen von A. C. JOHANSEN, C. H. OSTENFELD und mir eingesammelt, indem Fischereidirektor MORTENSEN bei mehreren Gelegenheiten gütigst das Personal und Materiell der Fischereikontrolle zur Verfügung stellte.

Eine verdienstvolle Arbeit wurde ausgeführt von Herrn HJ. USSING, Randers, der eine bedeutende Menge von Wasserproben aus dem Hafen von Randers eingesammelt und ausserdem die Einsammlung von Wasserproben bei Ugelhuse angeordnet hat.

Schliesslich habe ich durch Hafenvogt Herrn G. L. HANSEN, Randers, ein wertvolles Material von Wasserstandmessungen aus dem Hafen von Randers erhalten.

Die chemischen Analysen sowie die Bearbeitung des Materials überhaupt wurde im Hydrographischen Laboratorium zu Kopenhagen ausgeführt. Für das mir vom Vorstand dieses Laboratoriums, Professor MARTIN KNUDSEN, bei meiner Arbeit erwiesene Wohlwollen spreche ich hier meinen besten Dank aus

---

Das Beobachtungsmaterial besteht im wesentlichen aus Salzgehaltmessungen; sie wurden je nach den Umständen, unter denen sie unternommen wurden, in verschiedener Weise ausgeführt. Zur Aufnahme der Wasserproben wurden Wasserschöpfer verschiedener Konstruktionen benutzt, und die Bestimmungen des Salzgehaltes der Wasserproben fanden statt teils mit dem Aräometer, teils durch Titrierung Besondere Sorgfalt wurde beobachtet bei der Bestimmung der Chlormenge einiger Wasserproben, die Hr. Pächter ANDERSEN zwecks Feststellung der Chlormenge des dem Fjord aus der Gudenaa zugeführten Wassers gütigst bei Frijsenvold eingeholt hatte. In den meisten übrigen Fällen war es ohne Interesse, die Beobachtungen mit der bei den verschiedenen Methoden äusserst möchlichsten Genauigkeit anzustellen. Dies ist schon a priori wahrscheinlich und wird auch aus der folgenden Bearbeitung erhellen.

Ausser den Salzgehaltbestimmungen fanden gewöhnlich auf den hydrographischen Reisen auch Temperaturmessungen statt, da sie aber der mittleren Temperatur der Luft so nahe liegen, dass sie bei der Behandlung eines Materials von der Ausdehnung des vorliegenden ohne grösseres Interesse sein würden, sind sie in den Tabellen nicht mit herangezogen.

Es wurden in der üblichen Weise einige Bestimmungen der im Wasser aufgelösten Sauerstoffmenge ausgeführt; ausserdem wurden versuchsweise unmittelbar nach der Filtration und einige Tage später nach Stehenlassen im Dunkeln einige Bestimmungen der Sauerstoffmenge in filtriertem Wasser ausgeführt.

II. Das Beobachtungsmaterial in tabellarischer Darstellung.

Wo der Salzgehalt mit zwei Dezimalstellen angegeben ist, wurde er durch Titrierung bestimmt; wo er mit 1 Dezimalstelle angegeben ist, wurde er mit dem Aräometer bestimmt. Unter Salzgehalt verstehen wir die Meersalzmenge.

Fig. 1. Lage der hydrographischen Stationen.

Station 1. Hafen von Randers.
— 2. Mitten in Tjæreby Bredning.
— 3. Auf der Höhe von Kloster Ladested.
— 4. Grundfjord in der Verengerung.
— 5. Auf der Höhe von Ugelhuse.
— 6. Grundfjord auf der Höhe von Floes Wald.
— 7. Hollandsbjerg Flak.
— A. Auf der Höhe von Støvringgaard.
— B. Auf der Höhe von Voer Fährbrücke.
— 8. Auf der Höhe von Mellerup.
— C. Im Kanal auf der Höhe von Sædov Gaarde.
— D. Im Kanal auf der Höhe von Krogshøj.
— 9. Auf der Höhe von Holbækgaard.
— 10. Auf der Höhe von Udbyhøj.

1. Beobachtungen an verschiedenen Stationen.

(Über die Lage der hydrographischen Stationen (siehe Fig. 1, wo die Stationen durch römische Ziffern bezeichnet sind).

Monat	Datum	Stunde	Station	Tiefe m	Salz ‰	Bemerkungen
1914						
Mai	19	10 a	1	0	0,07	
				5	0,25	
—	19	11 a	2	0	0,18	
				5	0,23	
—	19	12 m	3	0	0,45	
				5	2,56	
—	19	1 p	5	0	2,3	
				2,5	3,3	
				3	2,2	
				4	5,0	
				5	10,3	
—	19	2 p		0	2,0	Zwischen Station 3 - 5 (Østrup Brücke)
				2,8	3,8	
				5	9,7	
—	20	10 a	1	0	0,05	
				4	0,09	
				5	1,67	
				5	1,31	
—	20	11 a	3	0	0,47	
				4	1,42	
				5	5,17	
				5,5	5,23	
—	20	12 m	5	0	2,38	
				2	3,10	
				3	7,09	
				4	11,04	
				5	12,12	
—	20	1 p	8	0	3,73	
				3	9,69	
				5	15,12	
—	20	2 p	9	0	8,4	
				3	15,8	
				5	20,2	
				6	21,0	
–	20	p	10	0	17,6	
				3	19,3	
				5	21,3	
				8	25,8	
—	20	6 p	5	0	1,9	
				5	7,9	
—	21	9 a	5	0	2,3	
				1	3,8	
				2	5,8	
				3	11,6	
				4	13,3	
				5	13,9	
—	21	10 a	6	0	1,9	

Monat	Datum	Stunde	Station	Tiefe m	Salz ‰	Bemerkungen
1914						
Mai	21	11 a		0	1,8	Zwischen Station 7 8 (auf der Höhe von Støvringgaard)
—	—	12 m	7	0	3,2	
—	21	3 p	5	0	2,8	
				1	2,8	
				2	3,1	
				3	4,4	
				4	10,8	
				5	14,3	
Septemb.	20		8	0	10,63	
1915						
April	5		5	0	2,10	
Mai	9		6	0	1,89	
Juni	1	12 m	9	0	9,1	
—	1	12 m		0	11,2	Zwischen Station 9 10 (auf der Höhe von Odpold)
—	1	1 p	10	0	17,94	
				2	19,58	
				3	21,80	
				5	21,94	
				8	21,96	
—	1	3 p	9	0	10,2	
				3	12,23	
				5	14,47	
				6	20,21	
—	1	4 p		0	10,3	Zwischen Station 8 9
—	1	6 p	8	0	2,70	
				1	3,12	
				2	8,08	
				3	10,99	
				5	14,13	
—	2	10 a	4	0	0,15	
				0,8	0,15	
—	2	11 a	6	0	1,59	
				1,5	1,59	
—	2	11 a	7	0	2,50	
				2	5,39	
				4	9,33	
				5	13,41	
				5,9	14,15	
—	2	12 m	5	0	2,43	
				1	2,67	
				2	5,81	
				3	9,09	
				4	11,51	
				5	12,70	

Monat	Datum	Stunde	Station	Tiefe m	Salz ‰	Bemerkungen
1915						
Juni	2	1 p	3	0	0,69	
				1	0,69	
				2	1,58	
				3	4,83	
				4	6,46	
				5,5	6,46	
—	2	2 p	2	0	0,24	
				1	0,24	
				2	0,35	
				3	0,76	
				4	0,41	Der Ort ein
				5,5	0,35	wenig verlegt
—	2	3 p	1	0	0.00	
				1		
				2	0,00	
				3		
				4		
				5,5	0,00	
August	25	11 a	5	0	1,84	
				3,5	8,44	
				5	12,27	
—	25	1 p	8	0	4,67	
				2	13,89	
				4	13,78	
				6	16,94	
—	25	1 p	9	5,5	16,33	
—	26	11 a	10	0	16,09	
				4	24,60	
				6	24,47	
—	27		4	0	0,10	
				1,2	0,10	
—	28		2	0	0,34	
—	28			0	2,27	Storestrøm etwa 200 m von der Gudenaa
—	28	2 p	9	0	14,47	
—	28		10	0	15,95	
—	29		7	0	6,67	
				3	17,57	
				5	18,75	
1916						
Mai	22	10 a	[2]	0	0,03	Aeusserstes Ende von Tjæreby Bredning
				2	0,01	
				3	0,03	
				5	0,03	
—	22	1 p	1	0	0,01	
				2	0,01	
				3,5	0,01	
				5,5	0,00	
—	23	1 p	9	0	13,08	Einwärtsgehender Strom
				2	15,48	
				3,5	17,97	
				5	18,08	
				6,5	18,03	
—	23	2 p	8	0	5,32	Einwärtsgehender Strom
				2	8,66	
				3,5	9,78	
				5,5	10,77	

Monat	Datum	Stunde	Station	Tiefe m	Salz ‰	Bemerkungen
1916						
Mai	23	3 p	5	0	0,81	Einwärtsgehender Strom
				2	2,76	
				3,5	4,52	
				5,5	4,80	
—	23	3 p	3	0	0,01	Einwärtsgehender Strom
				2	0,01	
				3,5	0,01	
				5	0,01	
				6,5	0,03	
—	24	1 p	5	0	0,34	
				2	1 74	
				3,5	2,77	
				5	4,09	
—	24	2 p	3	0	0,01	
				2	0,01	
				4	0,01	
				6	0,01	
—	24	2 p	2	0	0,00	
				2	0,01	
				3,5	0,00	
				5	0,01	
—	24	3 p	1	0	0,00	
				2	0,00	
				4	0,00	
				5,5	0,00	
August	8	5 p	B	0	5,7	
				5	11,0	
—	9	8^{15} a	C	0	7,94	
		8^{06} -		1	7,95	
		7^{57} -		2	9,58	
		7^{48} -		3	13,60	
		7^{39} -		4		
		7^{30} -		5	14,90	
—	9	9^{45} -	D	0	8,59	
		9^{42} -		1	8,68	
		9^{39} -		2	9,49	
		9^{36} -		3	12,72	
		9^{33} -		4	14,61	
		9^{30} -		5	15,59	
—	9	11^{30} a	C	0	5,07	
		11^{24} -		1	4,90	
		11^{18} -		2	4,99	
		11^{12} -		3	5,35	
		11^{06} -		4	7,70	
		11^{00} -		5	13,55	
—	9	2^{20} p	C	0	4,67	
		2^{17} -		1	4,67	
		2^{14} -		2	4,67	
		2^{11} -		3	4,67	
		2^{08} -		4	6,33	
		2^{05} -		5	14,42	
—	9	3^{40} p	D	0	8,69	
		3^{37} -		1	8,71	
		3^{34} -		2	8,95	
		3^{31} -		3	10,84	
		3^{28} -		4	14,49	
		3^{25} -		5	15,21	

Monat	Datum	Stunde	Station	Tiefe m	Salz ‰	Bemerkungen
1916						
August	9	5¹⁵ p	C	0	8,86	
		5¹³ -		1	8,68	
		5¹¹ -		2	8.86	
		5⁰⁹ -		3	10,86	
		5⁰⁷ -		4	13,98	
		5⁰⁵ -		5	15,05	
—	10	8¹⁰ a	C	0	9,4	
		8⁰⁸ -		1	10,2	
		7⁵⁶ -		2	13,1	
		7⁴⁰ -		3	14,4	
		7⁴² -		4	14,9	
		7³⁵ -		5	14,9	
—	10	10⁰⁵ a	D	0	11,5	
		9⁵⁹ -		1	12,7	
		9⁵⁸ -		2	14,0	
		9⁴⁷ -		3	14,9	
		9⁴¹ -		4	15,9	
		9³⁵ -		5	16,2	
–	10	12 m	C	0	4,7	
		11⁵⁷ a		1	5,3	
		11⁵⁴ -		2	6,5	
		11⁵¹ -		3	8,7	
		11⁴⁸ -		4	11,2	
		11⁴⁵ -		5	13,1	
--	11	8⁴⁰ a	A	0	5,6	
		8³² -		1	5,8	
		8²⁴ -		2	9,1	
		8¹⁶ -		3	11,3	
		8⁰⁸ -		4	11,9	
		8⁰⁰ -		5	12,1	
--	11	10¹⁵ a	C	0	6,3	
		10⁰⁸ -		1	6,9	
		10⁰¹ -		2	11,4	
		9⁵⁴ -		3	13,2	
		9⁴⁷ -		4	13,6	
		9⁴⁰ -		5	13,7	
—	11	2¹⁵ p	A	0	3,1	
		2⁰⁸ -		1	3,3	
		2⁰¹ -		2	3,1	
		1⁵⁴ -		3	4,6	
		1⁴⁷ -		4	8,0	
		1⁴⁰ -		5	9,1	
--	11	4¹⁰ p	C	0	3,9	
		4⁰² -		1	3,8	
		3⁵¹ -		2	4,0	
		3⁴⁰ -		3	5,3	
		3³⁸ -		4	9,5	
		3³⁰ -		5	13,0	
	12	8¹⁵ a	A	0	5,1	
		8⁰⁸ -		1	5,3	
		8⁰¹ -		2	8,6	
		7⁵⁴ -		3	10,3	
		7⁴⁷ -		4	11,1	
		7⁴⁰ -		5	11,7	
—	12	9⁵⁰ a	C	0	7,2	
		9⁴⁴ -		1	10,1	
		9³⁸ -		2	13,8	
		9³² -		3	14.6	
		9²⁶ -		4	14,9	
		9²⁰ -		5	15,0	

Monat	Datum	Stunde	Station	Tiefe m	Salz ‰	Bemerkungen
1916						
August	12	12⁰⁰ m	A	0	4,2	
		11⁵⁴ a		1	4,8	
		11⁴⁸ -		2	7,4	
		11⁴² -		3	10,6	
		11³⁶ -		4	11,6	
		11³⁰ -		5	12,7	
—	12	1⁴⁵ p	A	0	3,5	
		1³⁹ -		1	3,7	
		1³³ -		2	4,2	
		1²⁷ -		3	7,8	
		1²¹ -		4	9,9	
		1¹⁵ -		5	10,2	
—	12	3¹⁵ -	C	0	4,0	
		3¹⁰ -		1	4,4	
		3⁰⁵ -		2	4,9	
		3⁰⁰ -		3	9,6	
		2⁵⁵ -		4	11,6	
		2⁵⁰ -		5	15,4	
—	12	5¹⁵ -	A	0	3,2	
		5⁰⁹ -		1	3,4	
		5⁰³ -		2	4,1	
		4⁵⁷ -		3	4,7	
		4⁵¹ -		4	11,9	
		4⁴⁵ -		5	13,6	
—	14	8⁰⁰ a	C	0	6,6	
		7⁵⁴ -		1	7,2	
		7⁴⁸ -		2	8,5	
		7⁴² -		3	11,2	
		7³⁶ -		4	12,5	
		7³⁰ -		5	12,8	
—	14	9⁴⁵ -	A	0	5,3	
		9⁴¹ -		1	5,4	
		9³⁷ -		2	8,0	
		9³³ -		3	9,9	
		9²⁹ -		4	10,4	
		9²⁵ -		5	10,8	
—	14	12⁴⁵ p	C	0	5,3	
		12³⁹ -		1	7,4	
		12³³ -		2	10,7	
		12²⁷ -		3	12,7	
		12²¹ -		4	12,9	
		12¹⁵ -		5	13,1	
—	14	3³⁰ -	A	0	3,4	
		3²⁴ -		1	3,6	
		3¹⁸ -		2	4,5	
		3¹² -		3	6,8	
		3⁰⁶ -		4	8,7	
		3⁰⁰ -		5	9,7	
—	14	4²⁵ -	C	0	3,8	
		4²³ -		1	4,3	
		4²¹ -		2	4,9	
		4¹⁹ -		3	7,2	
		4¹⁷ -		4	11,0	
		4¹⁵ -		5	12,8	
	16	8⁰⁷ a	C	0	4,2	
		8⁰¹ -		1	4,3	
		7⁵⁵ -		2	5,0	
		7⁴⁹ -		3	7,2	
		7⁴² -		4	8,3	
		7³⁵ -		5	9,3	

Monat	Datum	Stunde	Station	Tiefe m	Salz ‰	Bemerkungen
1916						
August	16	9^{35} a	A	0	3,7	
		9^{28} -		1	3,8	
		9^{21} -		2	4,6	
		9^{14} -		3	6,1	
		9^{07} -		4	6,7	
		9^{00} -		5	7,9	
—	16	10^{55} -	C	0	6,1	
		10^{50} -		1	6,1	
		10^{45} -		2	7,1	
		10^{40} -		3	9,1	
		10^{35} -		4	10,1	
		10^{30} -		5	10,5	
—	16	1^{30} p	A	0	4,5	
		1^{25} -		1	5,0	
		1^{20} -		2	7,3	
		1^{15} -		3	80	
		1^{10} -		4	8,6	
		1^{05} -		5	10,1	
—	17	9 a	1	0	0,00	
				3,5	0,00	
—	17	10 a	2	0	0,00	
				5	0,00	
—	17	12 m	5	0	1,09	
				2,5	4,85	
				5	5,30	
—	17	1 p	2	0	0,00	
				2,5	0,00	
				5	0,00	
—	17	2 p	1	0	0,00	
				2,5	0,00	
				5	0,00	
—	18	7^{35} a	C	0	2,9	
		7^{29} -		1	3,1	
		7^{23} -		2	3,4	

Monat	Datum	Stunde	Station	Tiefe m	Salz ‰	Bemerkungen
1916						
August	18	7^{17} a	C	3	6,0	
		7^{11} -		4	9,2	
		7^{05} -		5	12,1	
—	18	9^{00} -	A	0	2,2	
		8^{56} -		1	2,3	
		8^{52} -		2	2,4	
		8^{48} -		3	4,2	
		8^{44} -		4	6,8	
		8^{40} -		5	8,8	
—	18	10^{45} -	C	0	4,2	
		10^{39} -		1	4,5	
		10^{33} -		2	5,7	
		10^{27} -		3	11,7	
		10^{21} -		4	14,0	
		10^{15} -		5	14,1	
—	18	12^{45} p	A	0	3,7	
		12^{41} -		1	3,7	
		12^{37} -		2	4,2	
		12^{33} -		3	7,0	
		12^{29} -		4	8,8	
		12^{25} -		5	10,2	
—	18	3^{15} -	C	0	5,9	
		3^{09} -		1	6,3	
		3^{03} -		2	7,2	
		2^{57} -		3	9,7	
		2^{51} -		4	12,8	
		2^{45} -		5	14,3	
Septbr.	3	a	2	0	0,03	
	»	»	2*)	0	0,03	
—	3	a	6	0	0,25	
	»	-	6*)	0	0,21	
—	3	a	7	0	0,36	
	»	»	7*)	0	0,32	

*) Die Wasserprobe am Ufer eingeholt.

2. Oberflächensalzgehalt im Hafen von Randers.

Ausserordentliches Hochwasser	+ + +	Ausserordentlich starker auswärtsgehender Strom	+ + +
Hochwasser	+ +	Starker auswärtsgehender Strom	+ +
Ueber norm. Wasserstand	+	Auswärtsgehender Strom	+
Norm. Wasserstand	○	Kein Strom	○
Unter norm. Wasserstand		Einwärtsgehender Strom	—
Niedrigwasser	— —	Starker einwärtsgehender Strom	— —
Ausserordentliches Niedrigwasser	— — —	Ausserordentlich starker einwärtsgehender Strom	— — —

Ferner bedeutet z. B. + 20 unter dem Titel Wasserstand einen Wasserstand von 20 cm über norm. Wasserstand.
» » - - — 20 » » » » » » » » 20 cm unter » »

Monat	Datum	Stunde	Salz ‰	Wasserstand	Strom
1914					
August	22	$7^1/_2$ p	0.00	○	
—	28	$7^1/_2$ -	0.00	○	
September	2	$7^1/_2$ -	0.00	+	
—	10	7 -	0.00	○	
—	19	12 m	**3.96**	+ + +	
—	26	8 p	0.00	○	+ +
—	29	1 -	**15.01**	+ + +	

Monat	Datum	Stunde	Salz ‰	Wasserstand	Strom
1914					
Oktober	8	8 p	0.01	+	
—	15	$7^1/_2$ -	0.00	+	
—	22	8 -	0.00	—	+ +
—	28	$7^1/_2$ -	0.00	+	
—	30	1 -	0.00	+ +	
November	5	$8^1/_2$ -	0.00	+	
—	12	8 -	**0.37**	+ + +	—

Monat	Datum	Stunde	Salz ‰	Wasserstand	Strom
1914					
November	20	5 p	0,01	○	
—	28	11 a	0,00	+	
Dezember	3	6 p	0,00	+	
—	10	7½ -	0,00	+ +	
—	16	6 -	0,01	+ +	
—	22	9½ -	0,00	○	
1915					
Januar	2	9 p	0,00	○	
—	6	7½ -	0,00	○	
—	12	7½ -	0,00	○	
—	18	7½ -	0,00	+	+ +
—	28*)	8 -	0,00	+ +	
Februar	3*)	8 -	0,00	+	
—	9*)	8 -	0,00	+	
—	17	7½ -	0,00	— —	+ +
—	26	8 -	0,00	○	
März	1	7 -	0,00	+ +	
—	5	7 -	0,00	○	
—	12	9 -	0,00	○	
—	20	7 -	0,00	○	+ +
April	2	11½ a	0,00	+ +	+ +
—	16	8 p	0,00	+	+
—	21	7½ -	0,00	+	
Mai	2	9 -	0,00	○	○
—	5	9 -	0,00	○	+
—	7	8 -	0,00	+	
—	14	9 -	0,00	+	
—	18	9 -	0,00	○	
—	28	8½ -	0,00	+	
Juni	3	8 -	0,00	—	
—	11	10 -	0,00	+	
—	18	9 -	0,00	—	
—	26	9 -	0,00	—	

*) Treibeis.

Monat	Datum	Stunde	Salz ‰	Wasserstand	Strom
1915					
Dezember	25	9½ a	0,01	+ 63	
1916					
Januar	6*)	1½ p	0,01	+ 79	
—	14	2 -	0,00	+ 95	+
—	21	1 -	0,01	+ 79	+ +
—	23	12 m	0,00	+ 68	—
—	25	2 p	0,01	+ 71	+
Februar	4	1½ -	0,01	+ 5	+
—	11	2 -	0,01	— 5	+
—	16	1½ -	0,00	+ 47	+
—	23	1½ -	0,01	+ 47	—
März	2	11 a	0,01	+ 5	+
—	8	1½ p	0,00	+ 45	—
—	22	1½ -	0,01	+ 84	+
—	29	1¾ -	0,00	0	+ +
April	7	1½ -	0,00	+ 13	+
—	12	11¼ a	0,00	+ 16	+
—	17	7½ p	0,01	— 10	+
—	26	7½ -	0,00	+ 16	+
Mai	3	1½ -	0,00	+ 18	+
—	11	7¾ p	0,01	+ 63	—
—	18	12 m	0,00	+ 47	+
—	25	12 -	0,00	— 31	+
Juni	2	7 p	0,00	— 21	+
—	10	7½ -	0,00	+ 16	+
—	17	6½ -	0,00	— 5	+
—	22	12½ -	0,00	+ 5	—
—	29	12 m	0,00	+ 31	+
Juli	5	5 p	0,00	+ 47	○
—	12	6 -	0,00	+ 21	○
—	18	12 m	0,00	+ 16	+
—	26	7 p	0,00	+ 5	○
August	3	2½ -	0,00	— 2	

*) Viel Schmelzwasser.

3. Salzgehalt am Boden im Hafen von Randers.

Ausserordentliches Hochwasser	+ + +	Ausserordentlich starker auswärtsgehender Strom (Oberfläche)	+ + +
Hochwasser	+ +	Starker auswärtsgehender Strom	+ +
Ueber norm. Wasserstand	+	Auswärtsgehender Strom	+
Norm. Wasserstand	○	Kein Strom	○
Unter norm. Wasserstand	—	Einwärtsgehender Strom	—
Niedrigwasser	— —	Starker einwärtsgehender Strom	—
Ausserordentliches Niedrigwasser	— — —	Ausserordentlich starker einwärtsgehender Strom	— — —

Ferner bedeutet z. B. + 20 unter dem Titel Wasserstand einen Wasserstand von 20 cm über norm. Wasserstand.
» » » » — 20 » » » » » » » 20 cm unter » »

Monat	Datum	Stunde	Salz ‰	Wasserstand	Strom
1915					
Juni	29	7 p	0,00	—	
Juli	6	7 -	2,41	+	
—	22	7 -	1,52	+	
—	30	7 -	0,00	+	

Monat	Datum	Stunde	Salz ‰	Wasserstand	Strom
1915					
August	5	7 p	0,00	+	
—	13	7½ -	0,00	—	
—	20	7½ -	0,00	+	
—	25	9 a	0,00	+	

Monat	Datum	Stunde	Salz ‰	Wasserstand	Strom
1915					
September	2	8 p	0.00	+	
—	11	7¼ »	0.00	—	
—	17	4 »	**2.41**	+ +	
—	23	1 »	0.01	— 16	
—	30	1½ »	0.01	0	
Oktober	9	8½ »	0.01	+	
—	14	3 »	0.01	+ 16	
—	21	4 »	0.01	+ 21	
—	27	1 »	0.01	+ 13	
November	5	1½ »	0.01	0	
—	12	1½ »	0.01	+ 47	
—	19	1½ »	0.01	+ 13	
—	24	10 a	**6.71**	+ 79	
Dezember	1	1 p	0,01	0	
—	8	1½ »	0,01	+ 47	+ + +
—	18	11½ a	0,01	+ 16	+ +
—	26*)	4 p	0,01	0	
—	30*)	1½ »	0,01	0	+ +
1916					
Januar	6**)	1½ p	0,01	+ 79	+ +
—	12	11 a	0,01	+ 55	+ +
—	14	2 p	0,01	+ 95	+
—	21	1 »	0,01	+ 79	+ +
—	25	2 »	0,01	+ 71	+
Februar	4	1½ »	0,01	+ 5	+

*) Eis.

**) Viel Schmelzwasser aus dem Tal der Gudenaa und dem Hinterland.

Monat	Datum	Stunde	Salz ‰	Wasserstand	Strom
1916					
Februar	11	2 p	0,00	— 5	+
—	16	1½ »	0,00	+ 47	+
—	23	1½ »	0,01	+ 47	—
März	2	11 a	0,01	+ 5	+
—	8	1½ p	0,00	+ 45	—
—	15	11½ a	0,01	+ 16	+
—	22	1½ p	0,01	+ 84	+
—	29	1¾ »	0.01	0	+ +
April	7	1½ »	0,00	+ 13	+
—	12	11¼ a	0.00	+ 16	+
—	17	7½ p	0,00	— 10	+
—	26	7½ »	0,00	+ 16	+
Mai	3	1½ »	0,01	+ 18	+
—	11	7¾ »	0,00	+ 63	—
—	18	12 m	0,01	+ 47	+
—	25	12 »	0,00	— 31	+
Juni	2	7 p	0,00	— 21	+
—	10	7½ »	0,00	+ 16	+
—	17	6½ »	0,00	— 5	+
—	22	12½ »	0,00	+ 5	—
—	29	12 m	0,00	+ 31	+
Juli	5	5 p	0,00	+ 47	0
—	12	6 »	0,00	+ 21	0
—	18	12 m	0,00	+ 16	+
—	26	7 p	0,00	+ 5	0
August	3*)	2½ »	**5,72**	— 2	+

*) Sturm aus Westen.

4. Oberflächensalzgehalt im Randersfjord auf der Höhe von Ugelhuse (Stat. 5.)

Sämtliche Wasserproben am Abend des angeführten Tages eingeholt.

Monat	Datum	Salz ‰	Monat	Datum	Salz ‰	Monat	Datum	Salz ‰	Monat	Datum	Salz ‰
1915			**1915**			**1915**			**1915**		
Juni	17	4,16	Juli	31	2,39	September	7	1,35	November	13	0,30
—	19	1,87	August	2	2,94	—	9	1,28	—	15	0,56
—	21	4,81	—	4	2,88	—	11	0,84	—	17	2,07
—	23	5,07	—	6	1,08	—	13	1,85	—	19	0,16
—	25	3,12	—	8	0,57	—	15	3,01	—	21	0,56
—	27	2,39	—	10	2,50	—	17	5,25	—	23	5,91
—	29	1,89	—	12	2,11	—	19	2,25	—	25	1,89
Juli	5	4,16	—	14	1,84	—	21	0,52	—	27	1,15
—	7	3,80	—	16	0,16	—	23	0,97	—	29	0,88
—	9	2,50	—	18	0,91	—	25	1,91	Dezember	1	0,47
—	11	4,22	—	20	1,47	—	27	2,07	—	3	0,27
—	13	7,77	—	22	0,37	—	29	2,77	—	5	0,54
—	15	5,43	—	24	1,49	Oktober	1	1,93	—	7	0,16
—	17	5,14	—	26	2,90	—	5	0,40	—	9	0,25
—	19	2,11	—	28	4,11	—	7	0,23	—	11	0,58
—	23	4,65	—	30	3,06	—	9	0,23	—	12	0,14
—	25	1,11	September	1	4,80	—	11	0,14			
—	27	1,11	—	3	4,27	—	13	0,14	**1916**		
—	29	1,33	—	5	0,58	November	7	0,54	Januar	26	2,41

Monat	Datum	Salz ‰	Monat	Datum	Salz ‰	Monat	Datum	Salz ‰	Monat	Datum	Salz
1916			1916			1916			1916		
Januar	28	2,02	März	11	0,08	April	20	0,10	Juni	16	0.32
—	30	0,14	—	13	0,03	—	22	0,00	—	18	1,20
Februar	1	0,04	—	15	0,03	—	24	0,03	—	20	2,56
—	3	1,52	—	17	0,31	—	26	0,01	—	22	2,05
—	5	0,53	—	19	0,04	—	28	0,70	—	24	2,00
—	7	2,76	—	21	0,04	—	30	1,33	—	26	0,34
—	9	1,70	—	23	0,14	Mai	2	2,45	—	28	0,16
—	11	1,67	—	25	0,10	—	4	2,16	—	30	2,05
—	13	1,35	—	27	0,85	—	8	1,78	Juli	2	2,20
—	15	4,56	—	29	0,10	—	10	0,92	—	4	1,63
—	17	13,08	—	31	0,03	—	12	0,77	—	6	2,23
—	19	0,47	April	2	0,32	—	14	1,52	—	8	2,81
—	21	0,38	—	4	0,12	—	16	0,72	—	10	0,81
—	23	0,83	—	6	0,06	—	18	0,64	—	12	1,39
—	25	0,10	—	8	0,04	—	20	1,53	—	14	0,81
—	27	0,12	—	10	0,85	—	22	0,44	—	16	0,25
—	29	0,08	—	12	2,97	—	24	0,03	—	18	0,68
März	2	0,12	—	14	1,85	—	26	0,10	—	20	0,34
—	4	0,06	—	16	0,86	Juni	14	0,60	—	22	0,14
—	9	0,04	—	18	0,01						

5. Gleichzeitige Messungen des Salzgehaltes an der Oberfläche und am Boden im Randersfjord auf der Höhe von Ugelhuse.

Ausserordentliches Hochwasser	+ + +	Ausserordentlich starker auswärtsgehender Strom	+ + +
Hochwasser	+ +	Starker auswärtsgehender Strom	+ +
Ueber norm. Wasserstand	+	Auswärtsgehender Strom	+
Norm. Wasserstand	○	Kein Strom	○
Unter norm. Wasserstand	—	Einwärtsgehender Strom	—
Niedrigwasser	— —	Starker einwärtsgehender Strom	— —
Ausserordentliches Niedrigwasser	— — —	Ausserordentlich starker einwärtsgehender Strom	— — —

Monat	Datum	Stunde	Oberfläche Salz ‰	Boden Tiefe m	Boden Salz ‰	Wasserstand	Strom	Monat	Datum	Stunde	Oberfläche Salz ‰	Boden Tiefe m	Boden Salz ‰	Wasserstand	Strom
1916								1916							
Januar	24	3 p	0,86	5¾	17,34		—	Mai	6	10 a	0,60	6	13,98		+
—	28	12 m	1,46	5½	11,82	— —	○	—	8	2 p	2,59	5½	13,19		—
Februar	2	4 p	0,03	6	0,04	+ +	—	—	10	4 -	1,07	5½	15,66		—
—	5	12½ -	0,47	6	9,49	+ +	+	—	12	4 -	0,90	5½	6,09		—
—	7	4 -	3,87	5½	16,92		+	—	16	11 a	1,29	6	13,03		—
—	11	3 -	0,85	5¼	5,90		○	—	19	3½ p	1,57	5½			+
—	17	4 -	11,65	6	16,64		○	—	24	1½ -	0,44	5	4,24		—
—	21	11 a	0,49	6	17,47		+	Juni	1	9 a	0,04	5	4,54		—
März	3	2 p	0,04	5½	0,04		+	—	2	9 -	3,10	5	16,28		+
—	17	3 -	0,03	5¼	0,04	— —	+	—	13	2 p	1,94	6	9,07		+
—	28	7 -	0,01	6	0,01		—	—	20	2 -	5,52	5½	12,38		
—	30	3 -	0,12	5½	2,02		+	—	24	6 -	1,07	5	6,09		—
April	4	3 -	0,51	5½	7,14	○		—	29	10 a	0,12	5	0,06		—
—	7	2 -	0,00	5¾	0,03	+		Juli	11	2 p	1,07	5	3,50		+
—	11	11 a	2,90	5¼	15,35	—		—	17	2 -	0,98	5½	11,29		+
—	14	10 -	1,65	5⅓	13,77	○		—	20	8 a	0,68	5	4,36		+
—	18	2 p	0,08	5½	0,49	○		August	1	2 p	2,05	5	8,46	+ +	
—	22	4 -	0,04	5¾	0,08	+		—	14	1 -	1,09	5½	5,35	+ +	
—	25	11 a	0,00	5	0,00	—		—	18	3 -	0,04	5	2,52	+ +	
—	28	6 *		5½	0,03	○									

*) Nicht angegeben ob a oder p.

III. Uebersicht über das Beobachtungsmaterial. Mittlere Werte des Salzgehaltes, dargestellt in Tabellen und auf Karten.

Eine Betrachtung der in den Figg. 2, 3, 4 und 5 dargestellten Schnitte vom Hafen von Randers bis nach Udbyhøj ergibt die charakteristischen Verhältnisse der Salzgehaltverteilung im Fjord. Die Schnitte sind hergestellt worden auf Grund von Beobachtungen bzw. aus den Monaten Mai 1914, Juni 1915, August 1915 und Mai 1916, und es besteht, wie ersichtlich, in den Hauptzügen unter ihnen eine gute Uebereinstimmung. Anderseits schwankt der Salzgehalt ein und desselben Ortes recht bedeutend von Zeit zu Zeit, und es könnten vermutlich in einer längeren Beobachtungsreihe noch grössere Unterschiede des Salzgehaltes ein und desselben Ortes obwalten, als sie in unserer Reihe von Schnitten vorkommen. Einen guten Ueberblick über die zeitliche Schwankung des Salzgehaltes an den zwei Stationen vom Hafen von Randers und von Ugelhuse, sowohl an der Oberfläche wie am Boden, erhält man aus den Tabellen S. 8 bis S. 11. Es ergibt sich daraus, dass der Oberflächensalzgehalt im Hafen von Randers gewöhnlich 0 ist, indem wir hier mit der Meersalzmenge rechnen (siehe Abschn. IV). Nur 3mal wurde in der ganzen Beobachtungsreihe im Wasser eine wirklich nachweisbare Salzmenge vorgefunden, wobei noch zu bemerken ist, dass die Wasserproben meist bei Hochwasser eingeholt wurden. Signaturen der Wasserstandhöhe sowie der Stromrichtung und -stärke finden sich in den Tabellen, die Erklärung über den Tabellentiteln. Trotz der geringen Anzahl von Fällen, in denen eine nachweisbare Salzmenge vorgefunden wurde, ist die vorgefundene Salzmenge eine bedeutende, einmal sogar 15,01 ‰ bei ausserordentlichem Hochwasser. Alle 3 Fälle fallen in den Herbst 1914: 19. September 3,96 ‰, 29. September 15,01 ‰ und 12. November 0,37 ‰, und in allen 3 Fällen hatte man vorher stärke Winde.

So wurde bei dem Feuerschiff von Skagens Rev am 15. und 16. September Wind aus S SW, WSW und W von der Stärke 7—8 beobachtet; sodann ging der Wind bei geringeren Windstärken nach S um, hatte aber am 18. September eine Stärke von 7 aus ENE erreicht; diese Windverhältnisse haben offenbar in grossem Masse zu dem hohem Wasserstand und dem sich daraus ergebenden hohem Salzgehalt im Hafen von Randers am 19. September beigetragen. Am 27. und 28. September herrschten starke westliche und nordwestliche Winde, die am 28. eine Stärke von 10 erreichten; am 28. und 29. ging der Wind sodann nach N um bei fortwährend bedeutender Stärke, und damit übereinstimmend war der Wasserstand im Hafen von Randers am 29. September ausserordentlich hoch, und von dem ungemein hohen Salzgehalt von 15.01 ‰ daselbst begleitet. — An den Tagen vor dem hohen Wasserstand und hohen Salzgehalt vom 12. November herrschten gleichfalls starke westliche und nordwestliche Winde; möglicherweise war der Salzgehalt am 12. in Abnahme begriffen.[1])

Das vorliegende Beobachtungsmaterial aus der Oberfläche vom Hafen von Randers ergibt somit, dass das Salzwasser im allgemeinen nicht dorthin gelangt, dass aber bei besonderen Witterungsverhältnissen, die in den Herbstmonaten am häufigsten vorkommen, bedeutende Mengen Salzwasser dorthin gelangen können.

In ähnlicher Weise verhält es sich der Hauptsache nach mit dem Salzgehalt am Boden des Hafens von Randers. Im ganzen wurde unter den 58 vorliegenden Beobachtungen 5mal eine bedeutende Salzmenge vorgefunden. Die grösste beträgt 6,71 ‰. Die 3 letzten von diesen Fällen am 17. September und 24. November 1915 und am 3. August 1916 stehen sicherlich in Verbindung mit den unmittelbar vorhergehenden oder gleichzeitig auftretenden starken westlichen, nordwestlichen und nördlichen Winden. Weniger in die Augen springend ist ein solcher Zusammenhang am 6. und 22. Juli 1915.

Aus der Oberfläche auf der Höhe von Ugelhuse liegt eine Reihe von Messungen vor, aus denen sich ergibt, dass der Salzgehalt hier recht bedeutend schwanken kann; dasselbe ist ersichtlich aus einer

[1]) Die angeführten Windstärken sind dem »Nautisk-meteorologisk Aarbog« herausgegeben von dem dänischen meteorologischen Institut, entnommen.

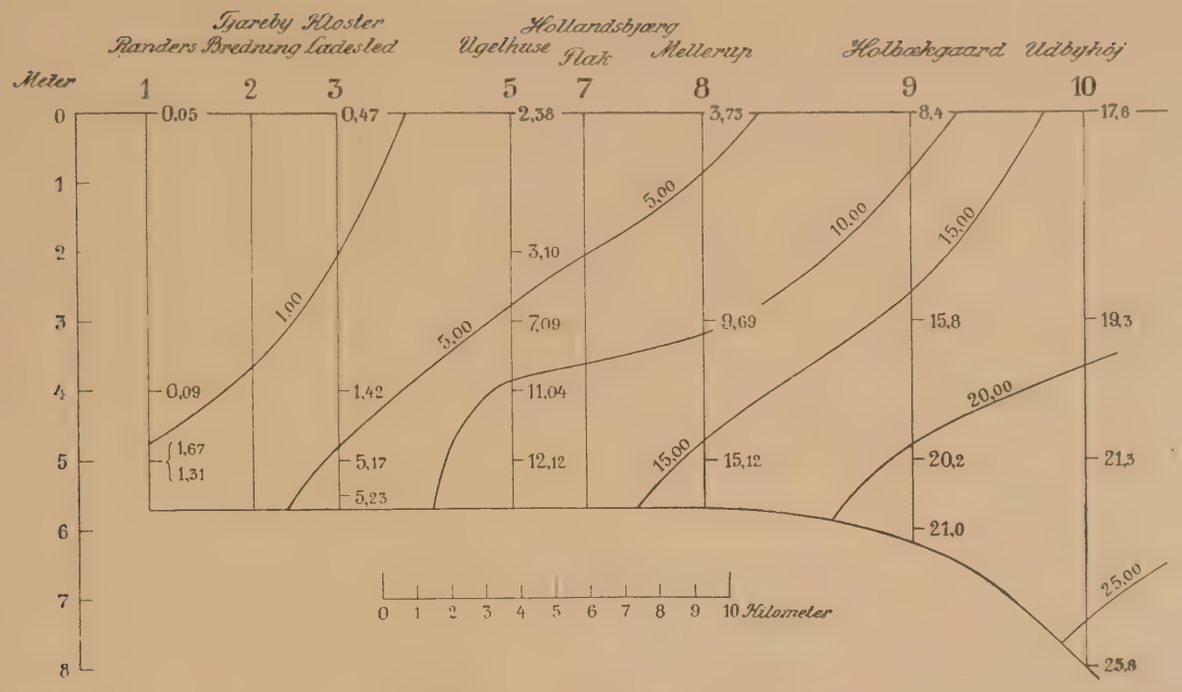

Fig. 2. Schnitt durch Randersfjord vom Hafen von Randers bis nach Udbyhøj 1914 am 20. Mai von 10 a. m. bis 4 p. m.
Die oben angegebenen Zahlen 1—10 bezeichnen die Nummern der Stationen (in der Karte Fig. 1 durch römische Ziffern bezeichnet)
Die Kurven geben die Stellen an, wo der Salzgehalt bzw. 1, 5, 10, 15, 20 und 25 ‰ war.

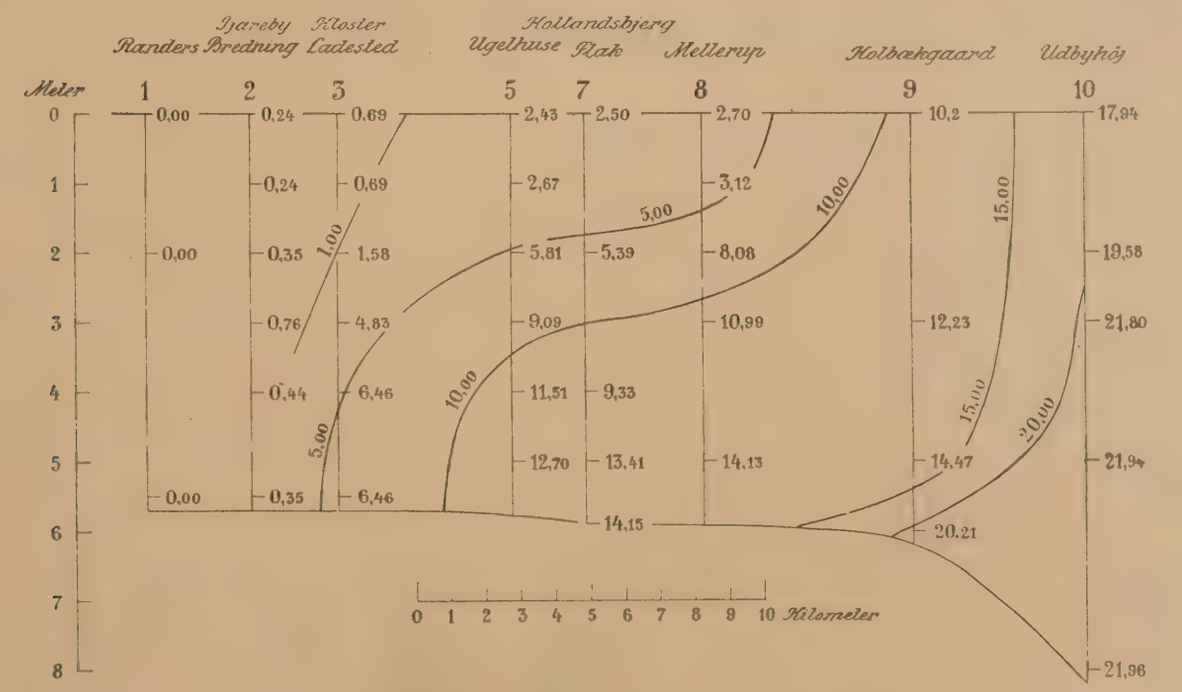

Fig. 3. Schnitt durch Randersfjord vom Hafen von Randers bis nach Udbyhøj 1915 am 1. Juni von 1 p. m. bis 6 p. m. (Stat. 8—10) und am 2. Juni von 11 a. m. bis 3 p. m. (Stat. 1—7).
Die oben angegebenen Zahlen 1—10 bezeichnen die Nummern der Stationen (in der Karte Fig. 1 durch römische Ziffern bezeichnet).
Die Kurven geben die Stellen an, wo der Salzgehalt bezw. 1, 5, 10, 15 und 20 ‰ war.

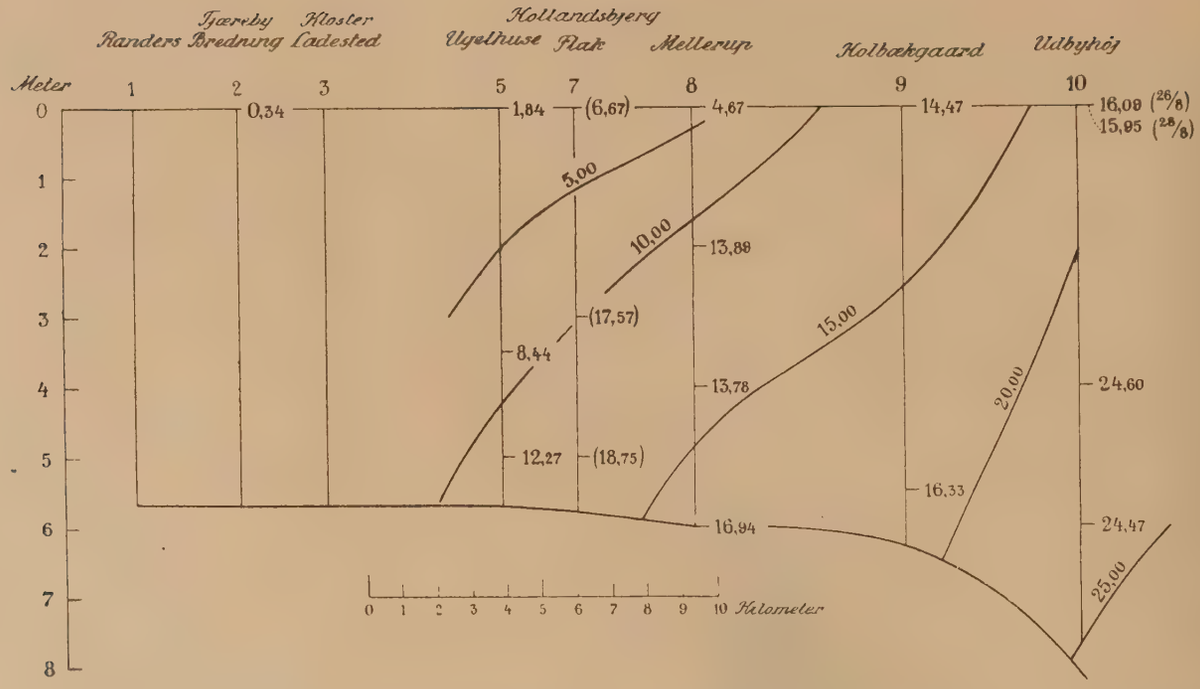

Fig. 4. Schnitt durch Randersfjord vom Hafen von Randers bis nach Udbyhøj 1915 am 25. August von 11 a. m. bis 1 p. m. (Stat. 5 und 8 nebst Stat. 9 in der Tiefe 5,5 m), am 26. August 11 a. m. (Stat. 10), am 28. August (Stat. 2 an der Oberfläche) am 28. August 2 p. m. (Stat. 9 und Stat. 10 an der Oberfläche) und am 29. August (Stat. 7).
Die oben angegebenen Zahlen bezeichnen die Nummern der Stationen (in der Karte Fig. 1 durch römische Ziffern bezeichnet). Die Kurven geben die Stellen an, wo der Salzgehalt 5, 10, 15, 20 und 25 $^{0}/_{00}$ war.

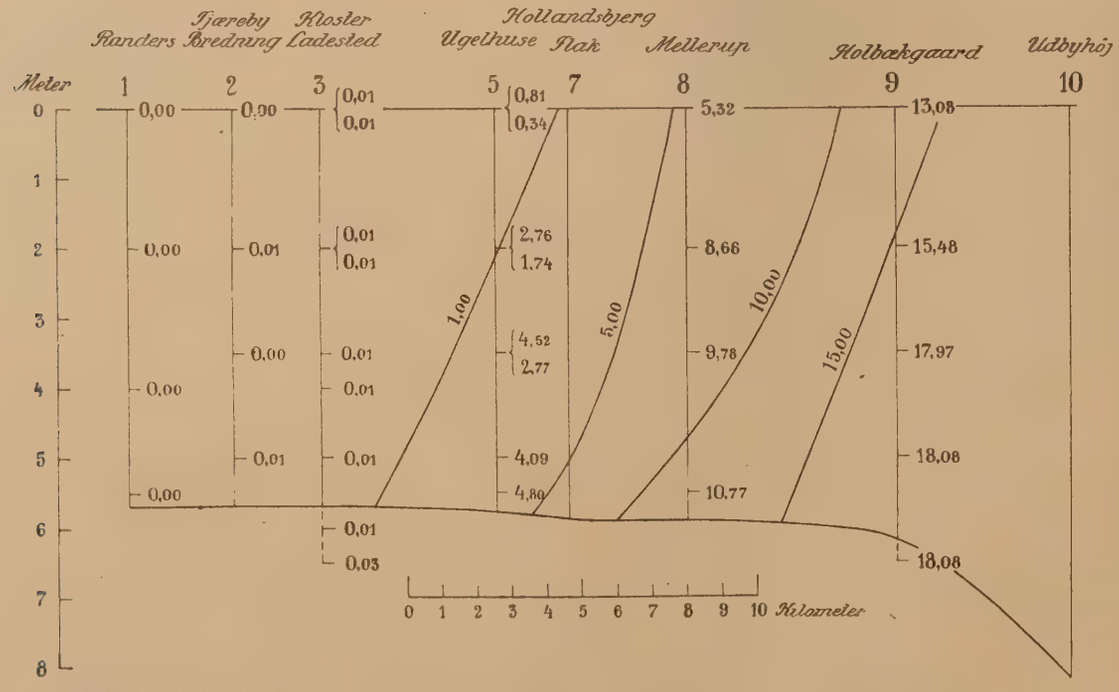

Fig. 5. Schnitt durch Randersfjord vom Hafen von Randers bis nach Udbyhøj 1916 am 23. Mai von 1 p. m. bis 3 p. m. (Stat. 3, 5, 8 und 9) und am 24. Mai von 1 p. m. bis 3 p. m. (Stat. 1, 2, 3 und 5).
Die oben angegebenen Zahlen 1– 10 bezeichnen die Nummern der Stationen (in der Karte Fig. 1 durch römische Ziffern bezeichnet). Die Kurven geben die Stellen an, wo der Salzgehalt 1, 5, 10 und 15 $^{0}/_{00}$ war

folgenden Reihe mit gleichzeitigen Beobachtungen aus der Oberfläche und vom Boden. Dies Material zeigt dass bei Ugelhuse nur ausnahmsweise kein Salz an der Oberfläche vorkommt, und dass der Salzgehalt zu Zeiten recht hoch ist. Unter im ganzen 152 Beobachtungen beträgt der höchste Salzgehalt 13,08 ‰; annehmbar können aber doch auch höhere Salzgehalte vorkommen.

Eine bedeutende und sehr schwankende Salzmenge findet sich im Bodenwasser auf der Höhe von Ugelhuse; in einzelnen Fällen kann sie auf ganz kleine Werte hinabsinken, kann aber auch häufig bis auf sehr bedeutende Werte, 10—15 ‰ ansteigen.

Die Reihe gleichzeitiger Messungen an der Oberfläche und am Boden ergibt als mittleren Wert des Salzgehaltes an der Oberfläche 1,35 ‰ und am Boden 7,49 ‰.

Reihen von Messungen, die sich nur vom 9. August 1916 bis zum 18. August 1916 erstrecken, wurden ausgeführt an den Stationen A, C und D, bzw. auf der Höhe von Støvringgaard, Sædov Gaarde und Krogshøj gelegen. Diese Messungen fanden statt mit besonderem Hinblick auf den Gezeitenstrom und en stationären Strom und werden später in Verbindung damit behandelt werden.

Bei der Berechnung mittlerer Werte des Salzgehaltes an der Oberfläche und am Boden im Randersfjord wurde das vorliegende Beobachtungsmaterial folgendermassen benutzt:

Auf Grund der 4 Schnitte Figg. 2, 3, 4 und 5 wurden mittlere Werte der Stationen 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 und 10 ermittelt, und zwar

Stat.	1	2	3	5	7	8	9	10
Oberfläche	0.02	0.22	0.50	1.80	3.61	4.10	11.54	17.19
Boden	0.50	1.29	3.89	10.30	13.23	14.33	18.90	24.25

Aus dem Beobachtungsmaterial von Stat. 1 (Hafen von Randers), Oberfläche, vom 22. August 1914 bis 3. August 1916, im ganzen 78 Beobachtungen, (Tabelle S. 8) wurde ermittelt:

mittlerer Salzgehalt an der Oberfläche im Hafen von Randers = 0.25 ‰.

Aus dem Beobachtungsmaterial von Stat. 1 (Hafen von Randers), Boden, vom 29. Juni 1915 bis 3. August 1916, im ganzen 58 Beobachtungen, (Tabelle S. 9), wurde ermittelt:

mittlerer Salzgehalt am Boden im Hafen von Randers = 0,33 ‰.

Aus dem Beobachtungsmaterial von Stat. 5 (Ugelhuse), Oberfläche, vom 17. Juni 1915 bis 26. Mai 1916 (Tabelle S. 10), wurden ermittelt Monatsmittel des Salzgehaltes:

Jahr	1916	1916	1916	1916	1916	1915	1915	1915	1915	1915	1915	1915
Monat	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Anzahl Beobachtungen	3	15	14	15	12	7	13	15	15	6	10	7
Monatsmittel	1.52	1.95	0.14	0.62	1.09	3.33	3.52	1.89	2.25	0.51	1.40	0.34

Aus diesen Monatsmitteln wurde ermittelt [1]):

Jahresmittel des Salzgehaltes an der Oberfläche auf der Höhe von Ugelhuse = 1.55 ‰.

Aus dem Beobachtungsmaterial der gleichzeitigen Messungen an der Oberfläche und am Boden von Stat. 5 (Ugelhuse) vom 24. Januar 1916 bis 18. August 1916, (Tabelle S. 11), im ganzen 2×38 Beobachtungen, wurde ermittelt:

Mittlerer Salzgehalt an der Oberfläche bei Ugelhuse = 1.35 ‰
» » am Boden » » = 7.49 ‰.

Aus dem Beobachtungsmaterial von Stat. A (auf der Höhe von Støvringgaard), Stat. C (a. d. H. v. Sædov Gaarde) und Stat. D (a. d. H. v. Krogshøj), Oberfläche und Boden, vom 9. August 1916 bis 18. August 1916 (Tabellen S. 6 bis 8) wurde ermittelt:

[1]) Durch später zugekommene Beobachtungen (siehe Tabelle S. 10) hat sich ergeben: Monatsmittel für Juni 1916 und Juli 1916 bzw. 1,25 ‰ und 1,21 ‰.

	Stat. A	Stat. C	Stat. D
Mittlerer Salzgehalt an der Oberfläche....	4.0 ‰	5.6 ‰	9.6 ‰
» » am Boden	10.6 ‰	13.4 ‰	15.7 ‰,

also bedeutende höhere Salzgehalte als bei Ugelhuse.

Aus dem Beobachtungsmaterial von Stat. 6 (Grundfjord a. d. H. v. Floes Skov) und Stat. 4 (Grundfjord, in der Verengerung), Oberfläche und Boden (0.8 m à 1.5 m) (Tabellen S. 5, 6 und 8) wurde ermittelt:

	Mittlerer Salzgehalt im Grundfjord	
	Auf der Höhe von Floes Wald (Stat. 6)	In der Verengerung (Stat. 4)
Oberfläche....	1.4 ‰ (4 Beobachtungen)	0.1 ‰ (2 Beobachtungen)
Boden.....	1.6 ‰ (1 Beobachtung)	0.1 ‰ (2 —

Zur Herstellung von Karten über den mittleren Salzgehalt an der Oberfläche und am Boden aus den berechneten mittleren Zahlen wurde die Fig. 6 veranschaulichte graphische Ausgleichung benutzt. An der Abszissenachse sind die Stationen 1, 2, 3 u. s. w. mit relativ richtigen Entfernungen abgesetzt, und an den Ordinaten der Stationsplätze sind sodann die berechneten mittleren Werte des Salzgehaltes bzw. für Oberfläche und Boden abgesetzt. Unter Berücksichtigung des verschiedenen Gewichtes der mittleren Werte sind dann Kurven gezeichnet, die für Oberfläche und Boden den mittleren Salzgehalt an den verschiedenen Orten im Fjord darstellen.

An diesen Kurven lässt sich nun ablesen, an welchen Orten des Fjords der mittlere Salzgehalt an der Oberfläche und am Boden bzw. 1. 2. 3. 4 u. s. w. ‰ beträgt, und in der Weise hat man also die Plätze der in den Karten Figg. 7, 8 aufgeführten Salzgehalte. Nach Abschätzung und unter Berücksichtigung der Beobachtungen aus Grundfjord ist zugleich der Salzgehalt an der Oberfläche und am Boden dieses Gewässers in den Karten aufgeführt.

Schliesslich wurden mittels der 4 Schnitte Figg. 2, 3, 4 und 5 unter Berücksichtigung der auf den Mittelkarten gefundenen Salzgehalte und teilweise durch eine graphische Interpolation noch mittlere Salzgehalte der intermediären Tiefen ermittelt. Diese mittleren Salzgehalte sind in Tab. 1 angeführt und geben uns die Hauptzüge der Salzverteilung im Fjord.

Tabelle 1.

Mittlere Werte des Salzgehaltes in verschiedenen Tiefen in Randersfjord.

Station	1	2	3	5	7	8	9	10
Tiefe 0	0,0	0,2	0,5	1,5	2,5	5,3	12,2	17,2
» 1	0,0	0,2	0,5	2,4	3,3	5,8	12,8	18,3
2	0,0	0,2	0,9	3,7	5,1	8,0	13,9	19,4
3	0,0	0,4	2,3	6,3	7,9	10,0	15,5	21,0
» 4	0,0	0,6	3,2	7,4	9,4	11,5	17,0	22,2
» 5	0,3	1,6	3,2	7,4	9,4	12,8	18,9	24,0

Wie aus der vorhergehenden Uebersicht über das Beobachtungsmaterial hervorgeht, ist die Salzgehaltverteilung im Randersfjord an vielen Orten der bekannten Salzgehaltverteilung durch Kattegat, Beltsee und Ostsee analog, und es ist kaum zu bezweifeln, dass die Art und Weise, in der die Salzgehaltverteilung in beiden Fällen entsteht, analog ist. Aus den oberen Wasserschichten des Kattegat dringt eine verhältnismässig salzreiche Schicht als Bodenschicht in den Randersfjord ein, während das Wasser der Gudenaa, mit dem Bodenwasser vermischt, die oberen Wasserschichten des Fjords bildet. Dadurch ent-

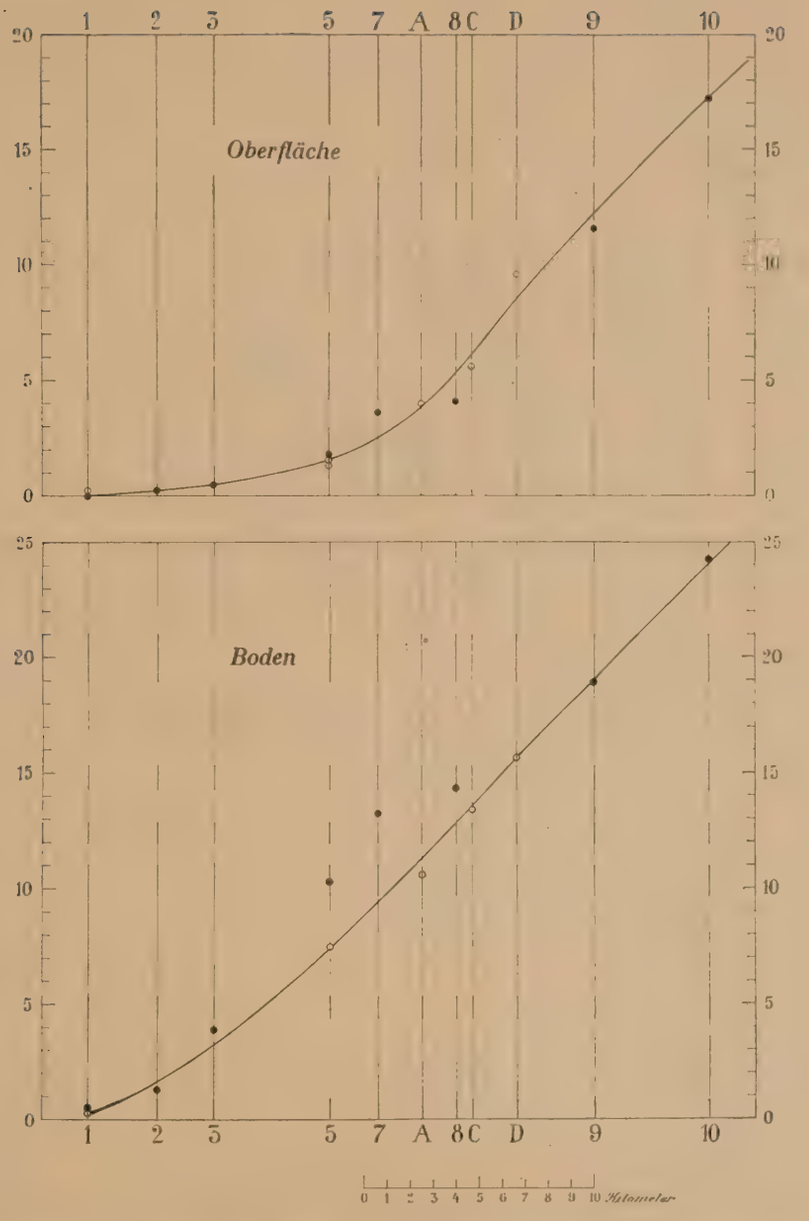

Fig. 6. Variation des Salzgehaltes im Randersfjord an der Oberfläche und am Boden. Die Zahlen links geben den Salzgehalt in Promille an. Die Zahlen 1—10 und die Buchstaben A, C und D über der obersten und unter der untersten Figur bezeichnen die Stationen, die in Fig. 1 mit I–X und mit A, C und D bezeichnet sind.

steht die charakteristische Keilform der beiden Wasserschichten. Wie wir es aus dem Grossen Belt kennen, hat man im der Unterschicht eine einwärtsgehende und in der Oberschicht eine auswärtsgehende Bewegung zu erwarten; direkte Strommessungen ergaben denn auch eine solche (siehe Abschnitt VII).

Um zu untersuchen, ob das am Boden entlang eindringende Wasser im Laufe der Zeit, den Verhältnissen im Kattegat analog, mit Sauerstoff untersättigt wird, wurden gelegentlich einige Untersuchungen angestellt, deren Ergebnisse in Tab. 2, S. 19, angeführt sind. Wie man sieht, beträgt der Sättigungsgrad des Bodenwassers bei Ugelhuse 61 %, ist also recht gering. Allerdings ist der Sättigungsgrad an den beiden inneren Stationen 1 und 2 auch recht gering, sowohl an der Oberfläche als am Boden, was aber wahrscheinlich von der bedeutenden Menge Abfall herrührt, die von der Stadt Randers aus in den Fjord

Fig. 7. Mittlerer Salzgehalt in pro mille an der Oberfläche im Randers Fjord auf Grundlage von Beobachtungen vom 20. Mai 1914 bis dem 18. August 1916

— · · — · · — · · —— Kurve der Tiefe von 4 m

Fig. 8. Mittlerer Salzgehalt in pro mille am Boden in der Segelrinne in Randers Fjord auf Grundlage von Beobachtungen vom 20. Mai 1914 bis dem 18. August 1916.

—— · · —— · · — · · — Kurve der Tiefe von 4 m.

Tabelle 2.

	Monat	Datum	Uhr	Tiefe	Temp.	Chlor ‰	Meersalz ‰	Sauerstoffmenge beob. O_2	Zur Sättigung erforderliche Sauerstoffmenge O_2'	Sättigungsgrad $100\ \frac{O_2}{O_2'}$	Filtriertes Wasser: Sauerstoffmenge unmittelbar nach der Filtration (17. Aug. 1916)	Filtriertes Wasser: Sauerstoffmenge nach Stehenlassen (21. Aug. 1916)
Hafen von Randers Stat. 1*)	August	17	9 a	0	17,0	0,00	0,00	4,96	6,74	73,6	5,54	3,69
				3,5	16,5	0,00	0,00	4,92	6,80	72,4	5,49	4,55
Tjæreby Bredning Stat. 2*)	August	17	10 a	0	17,0	0,00	0,00	4,74	6,74	70,3	5,31	2,68
				5	17,0	0,00	0,00	4,57	6,74	67,8	4,99	2,16
Ugelhuse Stat. 5	August	17	12 m	0	17,1	0,60	1,09					
				2,5	17,2	2,67	4,85					
				5	17,3	2,92	5,30	3,98	6,53	60,9	4,66	1,52

*) In Wasserproben von Stat. 1 und Stat. 2 am 17. August, Uhr: 1 p. m. war die Chlormenge gleichfalls = 0,00.

hinausgeführt wird und sich natürlicherweise in der Nähe von Randers am kräftigsten bemerkbar macht. Wahrscheinlich würde man für das Oberflächenwasser bei Ugelhuse einen Sättigungsgrad von nahezu 100 % gefunden haben; eine solche Messung fand leider nicht statt.

Wie die Tabelle zeigt, wurden einige Untersuchungen angestellt über die Veränderung, welche filtriertes Wasser durch Stehenlassen erleidet. Es wurde durch gewöhnliches Filtrierpapier filtriert, worauf zwei Winklersche Flaschen ganz gleich mit Wasser gefüllt wurden; zu der einen wurden sofort die Winklerschen Reagenzien gesetzt, während die andere 4 Tage im Dunkeln stand, bevor die Reagenzien zugesetzt wurden. Beide wurden dann in derselben Weise analysiert. Wie man sieht, hat während des Stehenlassens ein bedeutender Sauerstoffverbrauch stattgefunden. Dieser Sauerstoffverbrauch kann möglicherweise von lebenden Organismen herrühren, die durch das Filtrierpapier mit durchgelaufen sind, oder aber von einer Oxydation der im Meerwasser gelösten organischen Bestandteile.

IV. Titrierungen aus der Gudenaa und dem Randersfjord nach Volhards Methode. Menge von Meersalz im Brachwasser.

Wie in der »Uebersicht über das Beobachtungsmaterial« erwähnt, dringt das salzreiche Wasser aus dem äusseren Fjord und dem Meere nur selten in so bedeutenden Mengen ganz bis nach Randers ein, dass es sich deutlich nachweisen lässt.

Es lässt sich nun am leichtesten und sichersten durch Chlortitrierungen entscheiden, ob das sich im Hafen von Randers befindende Wasser mit Wasser aus dem Meere vermischt ist, da aber das Wasser der Gudenaa eine geringe Chlormenge enthält und es daher untersucht werden soll, ob die Chlormenge im Wasser des Randersfjord grösser ist als jene, muss man wissen, wie viel Chlor das Wasser der Gudenaa enthält.

Zu dem Ende fanden im ganzen 10 Titrierungen statt an Proben, die vom 22. März bis zum 7. April 1916 bei der Lachsfalle von Frijsenvold eingeholt worden waren. Es wurde nach der von S. P. L. Sørensen [1]) modifizierten Volhardschen Methode titriert; das Verfahren wurde dem geringen Chlorgehalt der Proben angepasst; Masstitrierung mit etwa 0.004 norm. Lösungen wurde benutzt; nachdem im Dunkeln zu den Proben (etwa 15 ccm) Ueberschuss von Silbernitrat gesetzt worden war, wurde das

[1]) S. P. L. Sørensen in Berichte über die Konstantenbestimmungen zur Aufstellung der hydrographischen Tabellen von Carl Forch, Martin Knudsen und S. P. L. Sørensen gesammelt von Martin Knudsen. D. kgl. danske Vidensk. Selsk. Skr. København 1902.

Chlorsilber abfiltriert, wonach die endgültige Einstellung stattfand. Die Wasserproben wurden ausserdem nach Mohrs Methode titriert. Die Resultate nach beiden Methoden sind unten angeführt. Bei den Mohr'schen Titrierungen wurde für den Ueberschuss an Silbernitrat korrigiert, der für die Färbung erforderlich ist.

Resultate von Titrierungen von Wasserproben aus der Lachsfalle von Frijsenvold.

								Chlormenge in ‰ Volhards Methode		Chlormenge in ‰ Mohrs Methode	
2	Stück	Proben,	eingeholt	am	22.	März	1916	0.017	0.015	0.01	0.01
2	—	—	—	»	27.	—	1916	0.014	0.014	0.01	0.01
2	—	—	—	»	31.	—	1916	0.013	0.014	0.01	0.01
2	—	—	—	»	3.	April	1916	0.015	0.013	0.01	0.01
2	—	—	—	»	7.	—	1916	0.015	0.015	0 01	0.01

Das Mittel der Chlormenge des Wassers aus der Gudenaa bei Frijsenvold ist danach zu 0.015 ‰ angesetzt.

Nach demselben Verfahren, das bei der Titrierung von Wasserproben aus der Lachsfalle von Frijsenvold befolgt wurde, wurden auch einige Wasserproben aus dem inneren Teil von Randersfjord titriert. Diese Wasserproben, am 23. und 24. Mai 1916 eingeholt, waren schon für die Bestimmung der im Schnitte Fig. 5 S. 14 angegebene Salzgehaltverteilung im Fjord verwendet worden.

Wie aus diesen Schnitten ersichtlich, fand sich am 23. und 24. Mai 1916 an den Stationen 1, 2 und 3 fast nur Flusswasser; die Titrierungen nach Volhard ergaben doch eine etwas grössere Chlormenge als die für das Wasser der Gudenaa angesetzte von 0.015 ‰. Die Resultate der Titrierungen nach Volhards Methode nebst den aufs neue ausgeführten Titrierungen nach Mohrs Methode sind unten angeführt.

Resultate von Titrierungen von Wasserproben der Stationen 1, 2 und 3, eingeholt am 23. und 24. Mai 1916.

Monat	Datum	Uhr	Station	Tiefe	Chlormenge in ‰ Volhards Methode	Chlormenge in ‰ Mohrs Methode
Mai	24	3 p	1	0	0.019	0.01
»	»	»	1	5½	0.019	0.01
»	24	2 p	2	0	0,022	0.01
»	»	»	2	5	0.023	0.02
»	24	2 p	3	0	0.022	0.02
»	»	»	3	6	0.026	0.02
»	23	3 p	3	0	0.026	0.02
»	»	»	3	6½	0.037	0.03

Ferner wurden in ähnlicher Weise Bestimmungen der Chlormenge in einzelnen Wasserproben aus der Oberfläche bei Ugelhuse, Stat. 5, ausgeführt.

Resultate von Titrierungen von Wasserproben aus der Oberfläche von Stat. 5, eingeholt vom 13. März 1916 bis 31. März 1916

Monat	Datum	Chlormenge in ‰ Volhards Methode	Chlormenge in ‰ Mohrs Methode
März	13	0.042	0.03
»	15	0.039	0.03
»	19	0.030	0.04
»	31	0.022	0.03

In der Uebersicht über das Beobachtungsmaterial ist, wie dies allgemein geschieht, das Wasser durch seine totale Salzmenge charakterisiert. Es wäre tatsächlich rationeller, bei der Herstellung von Schnitten u. s. w. die Chlormenge zu benutzen, und wie man bei der Untersuchung der Frage gesehen hat, inwiefern das Wasser bei Randers mit Meerwasser vermischt war, wurden dabei mit direktem Erfolg die Chlorbestimmungen herangezogen.

Um aber auch für den inneren Teil des Fjords das übliche Verfahren zu befolgen, habe ich zur Berechnung der Salzmenge auf Grund der Chlortitrierungen die S. 22 angeführte Tabelle benutzt, deren Berechnung auf folgenden Betrachtungen beruht.

Wenn Flusswasser und Meerwasser sich in der Natur vermischen und sich bei der Vermischung Salze ausscheiden, kann man die gesammte Salzmenge des Mischwassers nicht durch alleinige Chlortitrierungen ermitteln; dagegen ist man imstande, unter gewissen Voraussetzungen die Menge von Meersalz im Mischwasser durch Chlortitrierungen des Mischwassers und Flusswassers zu ermitteln.

Eine erste Voraussetzung ist, dass sich bei der Vermischung keine Halogenverbindungen ausscheiden. Man darf aber auch annehmen, dass diese Voraussetzung zutrifft; es sind namentlich die im Flusswasser gelösten Kalkverbindungen, die ausgeschieden werden können.

Wir benutzen folgende Bezeichnungen:

Chlormenge des am Vermischungsprozess beteiligten Meerwassers ..... Cl_M
» » » » » Flusswassers ..... Cl_F
» » » » » Mischwassers ..... Cl_B
Die Menge Meerwasser, ausgedrückt in Kilogramm, vom Chlorgehalt Cl_M, die in 1 kg Mischwasser enthalten ist ..... n
Die Menge Meersalz, ausgedrückt in Gramm, die in 1000 g Mischwasser enthalten ist ..... S'

Unter der Voraussetzung, dass die Menge von Meersalz im Meerwasser durch $0.030 + 1{,}8050\ Cl$[1] ausgedrückt werden kann, hat man:

$$S' = (0{,}030 + 1.8050\ Cl_M)\ n.$$

Ferner $Cl_B = nCl_M + (1 - n) \cdot Cl_F$,

Eliminiert man n hat man:

$$S' = \left(\frac{0{,}030 + 1.8050\ Cl_F}{Cl_M - Cl_F} + 1.8050\right)(Cl_B - Cl_F).$$

Bei $Cl_B = Cl_M$ geht diese Formel über in

$$S' = 0.030 + 1.8050\ Cl_M,$$

damit übereinstimmend, dass S' in diesem Falle die gesamte Salzmenge in unvermischtem Meerwasser bezeichnet.

Bei $Cl_B = Cl_F$ hat man $S' = 0$ in Uebereinstimmung damit, dass sich in reinem Flusswasser kein Meerwasser findet. Vorausgesetzt wird, dass Cl_M und Cl_F verschieden sind.

Es fragt sich nun, bis zu welcher Grenze der Chlormenge man eine Wasserprobe als reine Meerwasserprobe bezeichnen soll, oder mit anderen Worten: für welche geringste Chlormenge soll man die Gültigkeit der Formel $S = 0.030 + 1.8050\ Cl$ annehmen?

In Martin Knudsens hydrographischen Tabellen wird diese Formel zur Berechnung der Salzmenge bei einem Chlorgehalt bis auf 1.00 ‰ hinab benutzt. Die Grundlage für die Aufstellung der Tabellen bilden Analyseresultate von Meerwasserproben von verschiedenen Orten; die Wasserprobe, die den geringsten Chlorgehalt, nämlich 1.47 ‰ aufwies, stammte aus dem Finnischen Meerbusen.

Schon aus dem Grunde war zu vermuten, dass die aufgestellte Formel das Verhältnis zwischen Chlormenge und Salzmenge für den nördlichen Teil der Ostsee mit guter Annäherung widerspiegele, was auch durch Wittings[2]) spätere Untersuchungen bestätigt worden ist. Die Formel gilt sogar mit

[1]) Martin Knudsen, Hydrographische Tabellen. Kopenhagen 1901.
[2]) Rolf Witting, Einige Bemerkungen u. s. w. Publications de circonstance. Nr. 56.

grosser Annäherung für das Wasser der Flüsse, die durch die ältesten geologischen Ablagerungen laufen. Anders stellt sich das Verhältnis bei den mitteleuropäischen Flüssen. Nach KRÜMMEL [1]) hat das Wasser aus verschiedenen Flüssen im Mittel eine Chlormenge von 0.005 ‰ und eine Salzmenge von 0.17 ‰.

Vermischt sich ein solches Flusswasser mit Meerwasser, so dass die Chlormenge im Mischwasser 1 ‰ beträgt, und setzen wir voraus, dass sich beim Vermischungsprozess kein Salz ausscheidet, ist die Uebereinstimmung zwischen der sich im Mischwasser befindenden Salzmenge und derjenigen, die man mittels der Formel aus der Chlormenge berechnen kann, eine weniger gute. Wird z. B. das genannte Flusswasser mit Meerwasser mit einer Chlormenge von 19.50 ‰ und demgemäss einer Salzmenge von 35.23 ‰ vermischt, so dass die Chlormenge des Mischwassers 1 ‰ beträgt, ist der Salzgehalt des Mischwassers 1.96 ‰, während die Formel 1.84 ‰ ergibt.

So grosse Abweichungen wird man jedoch kaum antreffen, da etwas von dem im Flusswasser gelösten Salz bei der Vermischung gefällt wird; indessen weiss man im allgemeinen nicht viel davon, in welchem Masse die Fällung stattfindet, und da es Orte gibt, wo man die Formel ganz bis zur Chlormenge von 1‰ hinab als richtig betrachten kann, ist es am natürlichsten, definitionsmässig die Gültigkeit der Formel für alle Wasserproben bis auf die Chlormenge von 1.00 ‰ hinab anzuerkennen. Für das Brachwasser an den Küsten von Nord- und Mitteleuropa mit der Chlormenge ca. 1.00 ‰ wird man dann durch Bestimmung des Salzgehaltes in Promille nach der Formel einen Wert erhalten, der möchlicherweise etwa 0.1 kleiner sein kann als derjenige, den man durch Eindampfung erhält.

Wenn man also davon ausgeht, dass alle Wasserproben mit Chlormengen bis auf 1.00 ‰ hinab reines Meersalz enthalten, kann man die Formel von S′ zur Bestimmung der Meersalzmenge in einer Wasserprobe benutzen, die weniger Chlor enthält als 1.00 ‰, indem man $Cl_M = 1.00$ ‰ setzt; zur Berechnung von S′ wird es dann genügen, die Chlormenge des Mischwassers Cl_B und des Flusswassers Cl_F zu kennen; da Cl_F meist in einem grösseren Gebiete konstant ist, wird es sodann natürlich sein, S′ in einer Tabelle mit Cl_B als Argument aufzuführen; diese Tabelle wird sich dann mit kontinuierlichem Uebergang den Knudsen'schen hydrographischen Tabellen anschliessen, indem die Formel von S′, wie angeführt, bei $Cl_B = Cl_M$ in Knudsens Formel $S = 0.030 + 1.8050\ Cl$ übergeht.

Im vorliegenden Falle — Mischwasser aus der Gudenaa — ist nach den Titrierungen, die an Wasserproben aus der Gudenaa bei der Lachsfalle von Frijsenvold ausgeführt wurden, $Cl_F = 0.015$ ‰. Die Formel von S′ wird folglich

$$S' = -0.03 + 1.863\ Cl_B.$$

Diese Formel lässt sich mit guter Annäherung bei den meisten mitteleuropäischen Flüssen benutzen, wo sich beim Ausfluss ins Meer Mischwasser bildet, dessen Chlormenge weniger als 1.00 ‰ beträgt. Die Benutzung der Formel ergibt folgende Tabelle:

Tabelle über die Menge von Meersalz S′ in Mischwasser, deren Chlormenge weniger als 1.00 ‰ beträgt.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cl = 0.0	...	...	0.01	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14
0.1	0.16	0.17	19	21	23	25	27	29	31	32
0.2	34	36	38	40	42	44	45	47	49	51
0.3	53	55	57	58	60	62	64	66	68	70
0.4	72	73	75	77	79	81	83	85	86	88
0.5	90	92	94	96	98	99	1.01	1.03	1.05	1.07
0.6	1.09	1.11	1.13	1.14	1.16	1.18	20	22	24	26
0.7	27	29	31	33	35	37	39	40	42	44
0.8	46	48	50	52	53	55	57	59	61	63
0.9	65	67	68	70	72	74	76	78	80	81

[1]) Handbuch d. Ozeanographie. 2. Aufl., Bd. I, S. 225. Stuttgart 1907.

Bei der Bestimmung von Cl_B durch eine Mohr'sche Titrierung ist zu bemerken, dass eine geringe überschüssige Menge Silbernitrat erforderlich ist, um die rote Farbe hervorzubringen. Bei Titrierungen von Wasserproben mit Chlormengen derselben Grössenordnung wie das Normalwasser verursacht dies keinen Fehler. Bei der Titrierung von Wasserproben mit geringerer Chlormenge muss dagegen eine Korrektion eingeführt werden, wenn die Silbernitratlösung nach Normalwasser von etwa 19 ‰ eingestellt wird. Diese Korrektion kann folgendermassen angesetzt werden:

Für Chlormengen zwischen 0 und 5 ‰: Korrektion — 0.02
» » » 5 » 15 ‰: » — 0.01
» » » 15 » 25 ‰: » — 0.00.

V. Die Ursachen der Schwankungen des Wasserstandes im Hafen von Randers.

Da das Eindringen des Salzwassers in den Randersfjord mit den Schwankungen des Wasserstandes im äusseren und inneren Teil des Fjords in engem Zusammenhang stehen muss, schien es mir wichtig, in jedem Falle bis zu einem gewissen Grad festzustellen, wovon diese Wasserstandschwankungen abhängen.

Das Material von Wasserstandmessungen, das dieser orientierenden Untersuchung zugrunde liegt, ist mir gütigst von der Hafenkommission von Randers überlassen worden. Ich habe die täglich 8 Uhr vorm. und 4 Uhr nachm. in den Jahren 1914 und 1915 angestellten Beobachtungen benutzt.

Die am leichtesten zu behandelnde Wasserstandschwankung ist die Gezeit, und zwar namentlich die Mondperiode M_2, die die grösste ist. Untersucht man diese, erhält man zugleich einen Begriff davon, in welchem Grade man erwarten kann, aus anderen Gründen gesetzmässige Schwankungen vorzufinden.

Tabelle 3.

Mittlere Werte des Wasserstandes im Hafen von Randers zu den Monduhrzeiten 0—11 auf Grund täglicher Beobachtungen 8 Uhr vorm. und 4 Uhr nachm. 1914–1915. (Der Wasserstand ist angegeben in dän. Zoll.)

Beobachtungszeit	Mittlerer Wasserstand	Abweichung vom mittleren Wasserstand zu den Monduhrzeiten (0—11)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1914, 8 Uhr vorm. . .	6,75	5,13	1,13	— 3,79	— 6,59	— 9,47	— 6,00	— 1,83	2,04	2,93	5,77	4,81	5,89
» 4 » nachm. .	4,27	0,81	— 3,94	— 2,56	— 2,39	— 2,95	— 2,51	— 3,27	— 2,11	2,29	4,13	5,53	6,93
1915, 8 » vorm. . .	6,01	3,43	— 0,49	— 3,21	— 4,49	— 4,29	— 1,81	1,63	1,35	— 0,45	0,95	2.49	4,91
» 4 » nachm. .	3,29	3,03	0,71	— 0,33	— 2,93	— 7,37	— 6,12	— 4,00	— 2,54	2,71	4,95	7,27	4,63
Mittlere Werte		3,10	— 0,65	— 2,47	— 4,10	— 6,02	— 4,11	— 1,87	— 0,31	1,87	3,95	5,02	5,59
Ausgeglichene Werte, berechnet aus $h = 5{,}18 \cos(kt - 301°{,}9)$ . .		2,74	0,17	— 2,44	— 4,40	— 5,18	— 4,57	— 2,74	— 0,17	2,44	4,40	5,18	4,57
Differenz		0,36	— 0,82	— 0,03	0,30	— 0,84	0,46	0,87	— 0,14	— 0,57	— 0,45	— 0,16	1,02

Das Ergebnis der Untersuchung von M_2 ist in Tab. 3 und graphisch Fig. 9 dargestellt. Die Abweichung h_{M_2} in cm vom mittleren Wasserstand, die von der Mondwelle M_2 erzeugt wird, kann ausgedrückt werden durch

$$h_{M_2} = 13.6 \cos(kt - 302°),$$

wo $k = 28°98$ und t die Anzahl von Mondstunden ist, die zu der betreffenden Zeit seit der Kulmination des fiktiven Sterns verstrichen ist.

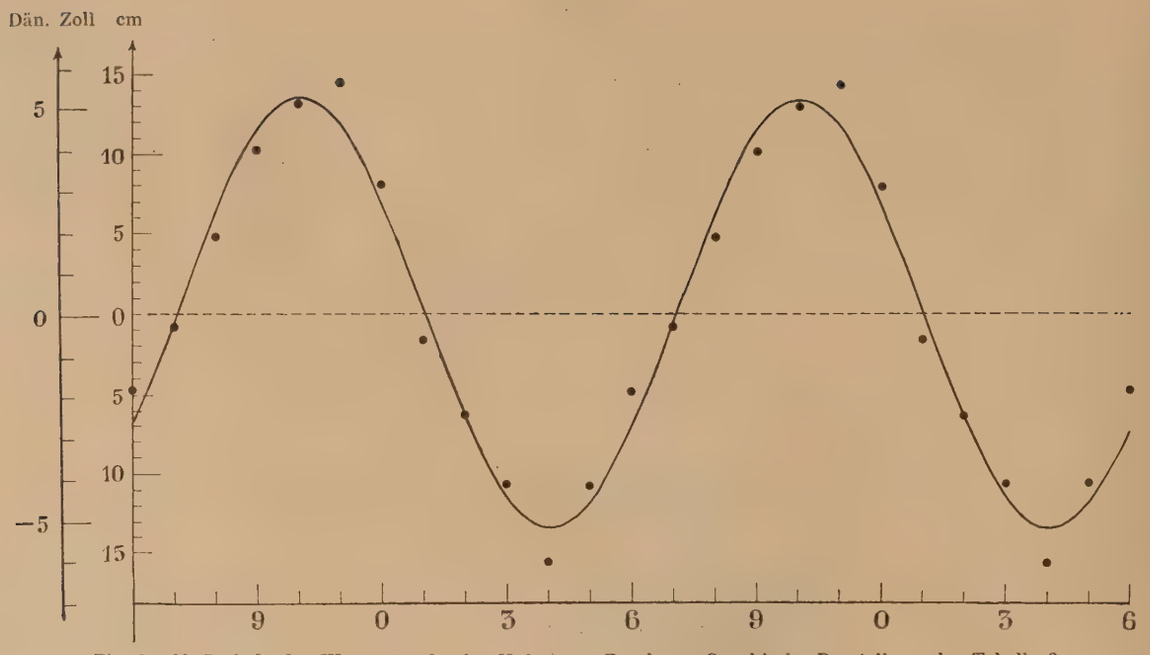

Fig. 9. M_2-Periode des Wasserstandes im Hafen von Randers. Graphische Darstellung der Tabelle 3.

Es ist interessant, dass diese Mondwelle im Hafen von Randers fast ganz dieselbe Amplitude und Phase hat wie bei Aarhus. Für Aarhus ist nämlich nach CRONE [1])

$$h_{M_2} = 13.6 \cos (kt - 305^0).$$

Da die mir zur Verfügung stehenden Wasserstandbeobachtungen alle um 8 Uhr vorm. oder 4 Uhr nachm. angestellt waren, lassen sie sich nicht zur Berechnung der S_2-Periode benutzen. Gehen wir aber davon aus, dass auch diese Periode dieselbe ist für Randers wie für Aarhus, können wir die Abweichung des Wasserstandes von der Norm zu den beiden Zeiten 8 Uhr vorm. und 4 Uhr nachm. von dem von CRONE berechnete S_2 für Aarhus aus berechnen:

$$\text{Indem } h_{S_2} = 4.2 \cos (30 \cdot t - 271^0)$$

finden wir h_{S_2}, 8 Uhr vorm $= 3.4$ cm und h_{S_2}, 4 Uhr nachm $= -3.8$ cm. Der Unterschied zwischen dem Wasserstand zu den beiden Zeitpunkten ist also nach dieser Berechnung 7.2 cm.

Nach den mittleren Zahlen des vorliegenden Materials Tab. 3 findet man für denselben Differenz 2 60 dän. Zoll = 6 8 cm, und es unterliegt somit kaum einem Zweifel, dass die Gezeitenwellen bei Randers dieselbe Amplitude und Phase haben wie bei Aarhus.

Ich führe daher nach CRONES Abhandlung die wichtigsten Wellen von Aarhus an, deren Amplitude grösser ist als 2 cm.

Gezeitenwellen bei Aarhus nach Crone.

M_2	Amplitude	13.6	Phase	305
S_2	—	4.2	—	271
N	—	3.8	—	256
2 MS	—	3.3	—	132
0	—	3.2	—	339

[1]) C. CRONE, Flux et reflux des mers etc. Institut mét. de Danemark. Copenhague 1906.

Mittels der Phasen der Gezeitenwelle bei Randers und Crones Karte über den Verlauf der Gezeitenwelle im Kattegat kann man sich einen Begriff von der Zeit bilden, die die Welle gebraucht, um sich von Udbyhøj bis nach Randers hinein zu verpflanzen; es dauert etwa 1 Stunde.

Eine andere Ursache der Wasserstandschwankung bilden die Schwankungen des Luftdruckes. In einer früheren Arbeit[1]) habe ich dargetan, dass der Wasserstand bei den Färöern sehr genau den Schwankungen des Barometerstandes entspricht, indem die Wasserstandschwankungen etwa 13mal so gross sind wie die Barometerschwankungen. Dass sich derselbe Zusammenhang zwischen Luftdruck und Wasserstand auch in den dänischen Gewässern geltend macht, ist a priori wahrscheinlich für die Orte, die mit dem Meere in freier Verbindung stehen. Etwas anderes ist es, dass es in den dänischen Gewässern vielfache andere Ursachen zu eintretenden Wasserstandschwankungen geben kann als eben Luftdruckschwankungen.

Zur orientierenden Untersuchung der Frage, in welchem Grade der Wasserstand im Hafen von Randers vom Luftdruck abhängt, benutzte ich das erwähnte Material von Beobachtungen über den Wasserstand und tägliche Beobachtungen des Barometerstandes in Randers, die mir gütigst vom dänischen meteorologischen Institut zur Verfügung gestellt wurden.

Bei der Behandlung des Materials wurden erst die direkt beobachteten Wasserstände auf die Abweichung vom mittleren Wasserstand hin korrigiert, die von der Gezeitenwelle M_2 herrührten; da nur die Beobachtungen von 8 Uhr vorm. benutzt wurden, fiel die von S_2 herrührende Korrektion weg.

Die in der Weise korrigierten Werte des Wasserstandes wurden sodann rubriziert, so dass mittlere Zahlen aus allen den Wasserstandbeobachtungen gebildet werden konnten, die gleichzeitig mit einem Barometerstand von bzw. 730 mm — 735 mm, 735 mm — 740 mm u. s. w. angestellt worden waren.

Diese Wasserstandmittel sind in Tab. 4 A angeführt und Fig. 10 graphisch dargestellt.

Wie man sieht, besteht durchaus ein Zusammenhang zwischen Barometerstand und Wasserstand. Die Beobachtungen zeigen, dass eine Barometersteigerung von 1 cm einen Wasserstandabfall von 9 cm ergibt. Die punktierte Linie, die in der Figur diese Abhängigkeit angibt, ist unter Berücksichtigung des verschiedenen Gewichtes der mittleren Zahlen gezeichnet.

Dass sich das Verhältnis 9 statt 13 ergeben hat, mag von verschiedenen Gründen herrühren. Eine naheliegende Erklärung ist, dass die Zufuhr von Wasser zum Hafen von der Gudenaa aus eine Rolle spielt; es ist ja gegeben, dass die Wasserstandabänderung bei einer gegebenen Barometerschwankung an den verschiedenen Stationen von Udbyhøj bis zum oberen Lauf der Gudenaa kontinuierlich, wenn auch ungleichmässig abnehmen muss, z. B. bis zu den Seen von Silkeborg, wo sie 0 sein muss, und etwas

Tabelle 4 A.

Mittlere Werte des Wasserstandes im Hafen von Randers bei verschiedenem Barometerstand.

Vor der Bildung der mittleren Zahlen wurde der beobachtete Wasserstand auf den Einfluss der Gezeit hin korrigiert.
A = Anzahl von Beobachtungen. V = Mittlerer Wert des Wasserstandes in Centimetern.
Bei der Berechnung der Tabelle wurden alle Beobachtungen berücksichtigt.

Barometerstand / Zeit	730—735		735—740		740—745		745—750		750—755		755—760		760—765		765—770		770—775		775—780		780—785		785—790	
	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V
1914 Januar—Juni	1	10	3	35	11	20	14	21	24	18	30	16	52	9	28	8	12	3	5	−2	1	13		
» Juli—Dezember	1	29	4	20	11	33	12	36	24	30	29	29	60	18	29	14	14	15						
1915 Januar—Juni			3	54	13	26	12	28	29	14	42	11	44	12	26	2	12	−2						
» Juli—Dezember	2	60	1	18	9	24	16	30	25	25	43	21	44	17	26	13	12	9	3	−9	1	−5	1	0
1914 und 1915	4	40	11	30	44	26	54	29	102	21	144	19	200	14	109	9	50	6	8	−5	2	4	1	0

[1]) J. P. Jacobsen, Hydrographical investigations in Faeroe Waters. Medd. fra Komm. f. Havundersøgelser. Bd. II Nr. 4, S. 16. 1915.

Tabelle 4 B.

Mittlere Werte des Wasserstandes im Hafen von Randers bei verschiedenem Barometerstand.

Vor der Bildung der mittleren Zahlen wurde der beobachtete Wasserstand auf den Einfluss der Gezeit hin korrigiert.
A = Anzahl von Beobachtungen. V = Mittlerer Wert des Wasserstandes in Centimetern.
Bei der Berechnung der Tabelle wurden nur Beobachtungen von den Tagen berücksichtigt, an denen die Windstärke gleich 3 oder kleiner als 3 (0 – 12) beim Feuerschiff von Skagens Rev war.

Barometerstand / Zeit	730—735		735—740		740—745		745—750		750—755		755—760		760—765		765—770		770—775		775—780		780—785		785—790	
	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V	A	V
1914 Januar—Juni	1	10	2	39	6	25	9	22	12	10	23	16	33	8	18	5	11	−5	3	−4				
» Juli—Dezember			1	24	5	30	5	30	15	27	18	21	40	17	19	12	8	7						
1915 Januar—Juni			2	47	7	28	7	16	18	21	26	11	28	12	22	1	7	−8						
» Juli—Dezember					4	23	12	25	21	28	27	18	24	13	18	11	8	6	3	−9	2	−3		
1914 und 1915	1	10	5	39	22	27	33	23	66	23	94	16	125	13	77	7	34	0	6	−7	2	−3		

Tabelle 4 C.

Mittel von Barometerstand und Wasserstand bei Randers bei verschiedenen Windrichtungen beim Feuerschiff von Skagens Rev.

Bei der Berechnung der Tabelle wurden nur Beobachtungen von den Tagen berücksichtigt, an denen die Windstärke gleich 6 oder grösser als 6 (0—12) war. Vor der Bildung der mittleren Zahlen wurde der beobachtete Wasserstand auf den Einfluss der Gezeit hin korrigiert.

Windrichtung	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Windstärke, Mittel	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	10	7
Anzahl Beobachtungen	4	4	6	10	15	6	5	6	5	2	3	6	18	7	1	3
Barometerstand mm	757	760	760	758	753	751	749	747	746	750	754	759	759	759	760	758
Wasserstand cm	63	48	46	44	33	28	−2	−4	17	−14	10	20	17	32	21	30
Wasserstand, bezogen auf den Barometerstand 760 mm	60	48	46	42	27	20	−12	−16	4	−23	5	19	16	31	21	28

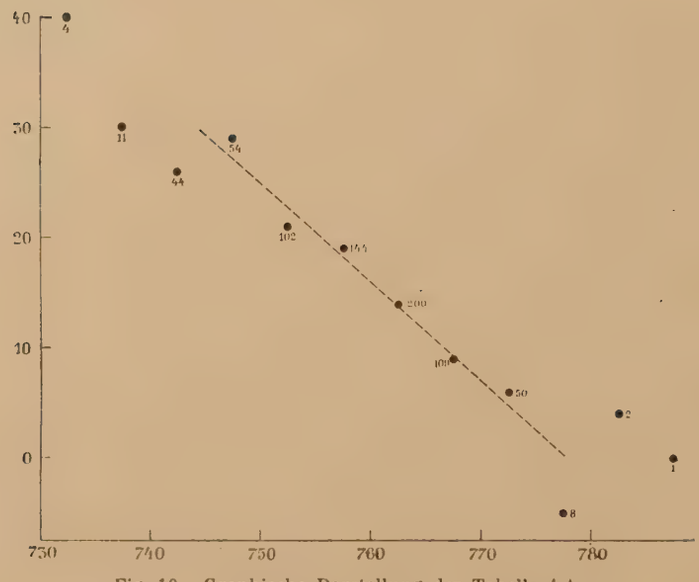

Fig. 10. Graphische Darstellung der Tabelle 4 A.

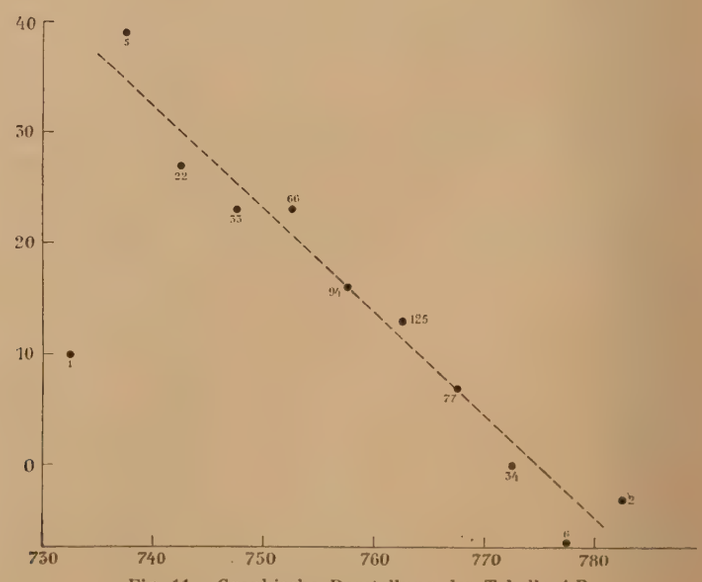

Fig. 11. Graphische Darstellung der Tabelle 4 B.

muss die Abänderung des Wasserstandes mit dem Barometerstand von Udbyhøj bis nach Randers abnehmen; wahrscheinlich ist aber die Reibung im Fjord gering im Verhältnis zur Reibung im Flusslauf, was bewirken muss, dass die Wasserstandabänderungen bei Randers sehr nahezu denen bei Udbyhøj entsprechen. Darauf deutet auch, dass die Gezeitenwelle mit so grosser Amplitude und mit so geringer Verspätung in den Fjord eindringt.

Eine andere Erklärung ist, dass die Wasserstandabänderungen zwar den Barometerschwankungen entsprechen, so dass z. B. einem Barometerfall von 1 cm eine Steigung des Wassers um 13 cm entspricht, dass aber einem solchen Barometerfall in der Regel auch eine bestimmte Windrichtung entspricht, die wiederum eine Abänderung des Wasserstandes erzeugt, die von der direkt hervorgerufenen Veränderung unabhängig ist.

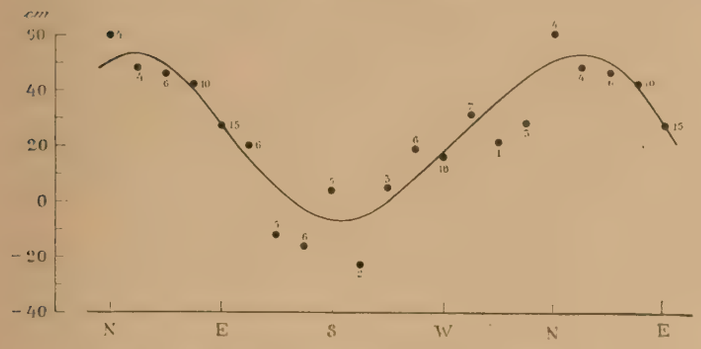

Fig. 12. Graphische Darstellung nach der Tabelle 4 C. Windrichtung und Wasserstand.

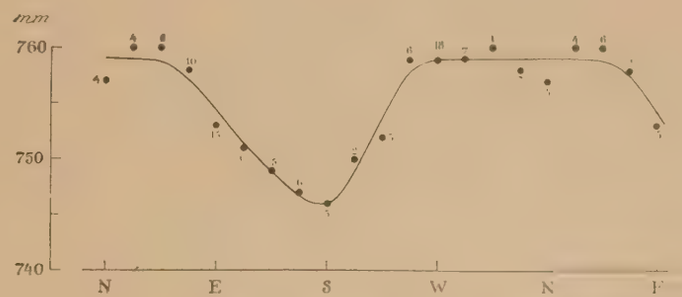

Fig. 13. Graphische Darstellung nach der Tabelle 4 C. Windrichtung und Barometerstand.

Für eine eingehende Untersuchung dieser Verhältnisse ist das vorliegende Material kaum gross genug; um aber die Wirkung des Windes abschätzen zu können, habe ich die Tab. 4 B in ähnlicher Weise wie 4 A zusammengestellt, indem jedoch zur Bildung der mittleren Zahlen diejenigen Beobachtungen von Barometerstand und Wasserstand benutzt wurden, die angestellt worden sind, wenn die Windstärke beim Feuerschiff von Skagens Rev = 3 oder kleiner war als 3 (0–12)[1]. Graphisch dargestellt ist die Tabelle auf Fig. 11. Wie man sieht, bekommt man auch bei Ausschliessung der starken Winde vom Beobachtungsmaterial sehr nahezu eine Wasserstandabänderung von 9 cm, wenn der Barometerstand sich um 1 cm verändert. Wie leicht ersichtlich, waltet jedoch bei der Bestimmung der Richtung der punktierten Linie eine bedeutende Unsicherheit ob, so dass man möchlicherweise bei einem grösseren Beobachtungsmaterial dem theoretischen Wert (13 cm) der Wasserstandabänderung bei einer Veränderung des Barometerstandes um 1 cm sehr nahe kommen würde. Ueber den Zusammenhang zwischen Wind, Barometerstand und Wasserstand habe ich durch die Zusammenstellung von Tab. 4 C einen Ueberblick zu erlangen gesucht. Darin sind angeführt mittlere Zahlen von Barometerständen und Wasserständen, die beobachtet wurden, wenn die Windrichtung bei Skagens Rev bzw. N, NNE u. s. w. war und die Stärke 6 oder darüber hatte, im Mittel 7, mit Ausnahme eines Falles mit Wind aus NW, wo die Stärke 10 betrug.

Nach dieser Tabelle und den vorhergehenden Tabellen kann man den Wasserstand als eine Funktion des von der Luft auf die Wasseroberfläche ausgeübten und direkt durch den Barometerstand angegeben Druckes sowie des Windes betrachten. Mittels des gefundenen Zusammenhanges zwischen Wasserstand und Barometerstand bei schwachen Winden wurden daher die berechneten Wasserstandmittel der zweitletzten Zeile von Tab. 4 C auf den direkten Einfluss des Luftdruckes hin korrigiert und in der letzten Zeile der Tabelle sind die korrigierten Werte, auf den Barometerstand 760 mm bezogen, aufgeführt. Diese korrigierten Wasserstandmittel stellen daher den Wasserstand als Funktion des Windes allein dar. Die Funktionsabhängigkeit ist Fig. 12 graphisch dargestellt. Wie man sieht, sind es die nördlichen Winde,

[1]) Benutzt sind die im »Nautisk-meteorologisk Aarbog« vom dänischen meteorologischen Institut veröffentlichten Windbeobachtungen.

die hohe Wasserstände erzeugen, während südliche Winde im Hafen von Randers niedrige Wasserstände ergeben. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstand bei den verschiedenen Windrichtungen der Stärke 7 beträgt, wie ersichtlich, im Mittel etwa 60 cm.

Fig. 13 enthält eine graphische Darstellung des Zusammenhanges zwischen Wind und Barometerstand mit Benutzung der Mittel von Tab. 4 C. Wie ersichtlich, hat man hohen Barometerstand bei nördlichen und westlichen Winden, niedrigen Barometerstand bei südlichen Winden. Daraus geht hervor, dass z. B. ein niedriger Barometerstand wegen des geringen Druckes auf die Wasseroberfläche einen hohen Wasserstand, aber da der niedrige Barometerstand mit südlichen Winden verbunden ist, einen niedrigen Wasserstand ergeben wird. Wenn wir daher bei der Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Barometerstand und Wasserstand auch nur die Beobachtungen berücksichtigt haben, die bei geringer Windstärke angestellt worden waren, ist es doch möglich, dass die Wirkung des Windes verursacht hat, dass wir bei einer Veränderung des Barometerstandes um 1 cm eine Wasserstandabänderung von 9 cm fanden statt eine solche von 13 cm, wie zu erwarten wäre, wenn die Wasserstandabänderungen im Hafen denen im freien Meere vollkommen entsprächen. Bei der Beziehung der mittleren Zahlen des Wasserstandes in Tab. 4 C auf den Barometerstand 760 mm spielt es jedoch nur eine untergeordnete Rolle, dass man vielleicht lieber eine Wasserstandabänderung von 13 cm als 9 cm hätte benutzen sollen. Um diese Probleme näher untersuchen zu können, wäre ein grösseres Material erwünscht.

VI. Der Gezeitenstrom im Randersfjord und die dadurch verursachte Schwankung des Salzgehaltes.

Im vorigen Abschnitt wurde erwähnt, dass die Konstanten der Schwankung des Wasserstandes bei Randers sehr nahezu den für Aarhus geltenden Konstanten gleich sind, und dass die Zeit, welche die Gezeitenwelle gebraucht, um von Udbyhøj nach Randers hineinzugelangen, zu etwa 1 Stunde angesetzt werden kann. Die Konstanten der Wasserstandschwankung bei Aarhus, die also auch als für Randers gültig angenommen werden, sind S. 24 angeführt.

Im folgenden werde ich zu einigen orientierenden Betrachtungen über den Zusammenhang zwischen Gezeitenstrom und Wasserstandschwankung an den verschiedenen Orten des Fjords die im allgemeinen durch M_2 bezeichnete Gezeitenwelle mit einer Periode von 12 Stunden 25 Minuten benutzen. Bei einer solchen einzelnen Welle kann man vom mittleren Wasserstand in einem bestimmten Teil des Fjords bei einer bestimmten Phase der Welle reden; ein solcher mittlerer Wasserstand bei der M_2-Welle, z. B. in dem innerhalb eines Querschnittes durch Stat. B bei Mellerup gelegenen Teil des Fjords, lässt sich annäherungsweise ausdrücken durch:

$$h = H \cos\left(28{,}98\,(t + \frac{\sigma}{2}) - 302\right)$$

indem der Wasserstand bei Randers durch

$$h_R = 13.6 \cos(28.98\,t - 302)$$

ausgedrückt ist und σ die Anzahl Sonnenstunden bezeichnet, um die das Maximum des Wasserstandes früher eintritt bei Mellerup als bei Randers. Die Grösse H kann annäherungsweise $= 13.6 \cos 28.98 \cdot \frac{\sigma}{2}$ angesetzt werden. Für den ganzen Fjord geltend ist H dann 13.2, also nur wenig verschieden vom Maximalwert bei Randers, wenn angenommen wird, dass σ etwa 1 Stunde beträgt.

Indem ich die drei Orte Udbyhøj, Mellerup und Ugelhuse betrachte, rechne ich schätzungsweise mit folgenden Werten von σ und H.

Udbyhøj	$\sigma = 1$	$H = 13.2$
Mellerup	$\sigma = 0.8$	$H = 13.3$
Ugelhuse	$\sigma = 0{,}7$	$H = 13.4$

Wenn die Unsicherheit von σ auch prozentweise gross ist, hat sie doch nur eine untergeordnete Bedeutung, da σ klein ist, und die von der Unsicherheit in σ herrührende Unsicherheit in H ist, wie man sieht, verschwindend klein.

Der mittlere Wasserstand h ist dann bei

Randers—Udbyhøj	$h = 13.2 \cos (28.98\, t - 288^0)$
Randers—Mellerup . . .	$h = 13.3 \cos (28.98\, t - 290^0)$
Randers—Ugelhuse . . .	$h = 13.4 \cos (28.98\, t - 292^0)$

Kennt man den Flächeninhalt A des betrachteten Teils des Fjords von Randers bis auf die Höhe des ihn begrenzenden Schnittes sowie den Flächeninhalt dieses Schnittes a, kann man mittels obenstehender Tabellen den mittleren Wert s des Gezeitenstroms im Schnitte zu jedem Zeitpunkt berechnen.

Rechnen wir s positiv bei auswärtsgehendem Strom, haben wir mit Benutzung der Einheiten cm und sec

$$s \cdot a = -\frac{dh}{dt} \cdot A;$$

der gewöhnliche Ausdruck von h ist

$$h = H \cos (kt - f)$$

woraus

$$\frac{dh}{dt} = -\,0.000\,1404 \cdot H \sin (kt - f)$$

also

$$s = 0.000\,1404 \cdot \frac{A}{a} \cdot H \sin (kt - f)$$

Nach obenstehenden Formeln und Messungen auf den Karten des dänischen Generalstabs von 1884—85 haben sich an den betrachteten Orten des Fjords folgende zusammengehörende Werte ergeben

	A	a	H	f
Randers—Udbyhøj	$24.2 \cdot 10^{10}$ cm²	$1.47 \cdot 10^7$ cm²	13.2	288 ⁰
Randers—Mellerup . . .	$9.9 \cdot 10^{10}$ —	$0.90 \cdot 10^7$ —	13.3	290 ⁰
Randers—Ugelhuse . . .	$2.7 \cdot 10^{10}$ —	$0.43 \cdot 10^7$ —	13.4	292 ⁰

Der mittlere Wert des von der M_2-Periode in den betrachteten Schnitten herrührenden Gezeitenstromes lässt sich danach berechnen als:

Udbyhøj	$s = 30.5 \sin (28^0 98\, t - 288^0)$
Mellerup	$s = 20.5 \sin (28^0 98\, t - 290^0)$
Ugelhuse	$s = 11.8 \sin (28^0 98\, t - 292^0)$.

s ist ausgedrückt in cm/sec, t bedeutet die Zeit nach der Kulmination des fiktiven Sterns, ausgedrückt in Sonnenstunden.

— —

Um die Stromverhältnisse im Fjord nebst den Problemen zu untersuchen, die sich damit in Verbindung bringen liessen, wurde eine Reihe von Messungen bei Mellerup (Stat. B) und an den in diesem Gebiete des Fjords liegenden Stationen A und C angestellt; die Strommessungen fanden alle im Gewässer bei Voer Fährbrücke statt (Stat. B). Es wurde mit dem Libellenstrommesser in Tiefen von 1, 2, 3 und 4 m von einem kleinen verankerten Kahn aus gemessen. Die Ergebnisse der vom 8.—18. August 1916 ausgeführten Messungen sind Tab. 5 verzeichnet.

Tabelle 5.
Strommessungen an Station B.

Monat	Datum	Uhr	Strom (cm/sec) pos. gegen das Kattegat 1	2	3	4	h_0	Gezeitenstrom 1	2	3	4	Stationärer Strom 1	2	3	4	Mittel des stationären Stroms 1	2	3	4
1916 August	8	5^{00} p	− 40	− 37	− 33	− 36	17	− 28	− 27	− 20	− 16	− 12	− 10	− 13	− 20	− 12	− 10	− 13	− 20
	9	6^{45} a	0	− 11	− 8	− 16	18	− 13	− 12	− 6	− 4	+ 13	+ 1	− 2	− 12	− 13	+ 1	− 2	− 12
	10	7^{00} a	0	0	− 7	− 23	19	− 26	− 24	− 16	− 13	+ 26	+ 24	+ 9	− 10				
	»	1^{00} p	+ 29	+ 29	+ 23	+ 17	16	+ 26	+ 24	+ 17	+ 14	+ 3	+ 5	+ 6	+ 3	+ 6	+ 4	− 3	− 11
	»	5^{30} p	− 42	− 46	− 48	− 46	14	− 31	− 29	− 25	− 20	− 11	− 17	− 23	− 26				
	11	7^{15} a	− 29	− 36	− 36	− 29	19	− 35	− 32	− 23	− 19	+ 6	− 4	− 13	− 10				
	»	9^{15} a	+ 17	+ 12	+ 12	+ 7	18	+ 1	+ 1	+ 4	+ 5	+ 16	+ 11	+ 8	+ 2	+ 18	+ 10	+ 1	− 2
	»	12^{30} p	+ 70	+ 59	+ 29	+ 12	18	+ 39	+ 36	+ 29	+ 24	+ 31	+ 23	0	− 12				
	»	3^{00} p	+ 23	+ 17	+ 12	+ 12	16	+ 6	+ 5	+ 2	0	+ 17	+ 12	+ 10	+ 12				
	12	6^{50} a	− 32	− 34	− 39	− 34	18	− 41	− 38	− 31	− 25	+ 9	+ 4	− 8	− 9				
	»	9^{00} a	− 12	− 12	− 17	− 12	21	− 13	− 12	− 6	− 4	+ 1	0	− 11	− 8				
	»	10^{20} a	+ 32	+ 17	+ 12	+ 12	19	+ 13	+ 12	+ 14	+ 13	+ 19	+ 5	− 2	− 1	+ 10	+ 3	− 8	− 8
	»	2^{15} p	+ 46	+ 32	+ 7	0	19	+ 25	+ 23	+ 16	+ 13	+ 21	+ 9	− 9	− 13				
	»	4^{00} p	− 7	− 12	− 20	− 17	17	− 7	− 7	− 8	− 8	0	− 5	− 12	− 9				
	14	7^{00} a	− 44	− 53	− 53	− 48	19	− 40	− 37	− 32	− 27	− 4	− 16	− 21	− 21				
	»	8^{35} a	− 23	− 23	− 20	− 17	17	− 37	− 34	− 26	− 22	+ 14	+ 11	+ 6	+ 5				
	»	10^{30} a	− 12	− 12	− 12	− 17	18	− 13	− 12	− 6	− 4	+ 1	0	− 6	− 13				
	»	11^{45} a	+ 34	+ 20	+ 12	+ 12	16	+ 10	+ 10	+ 11	+ 10	+ 24	+ 10	+ 1	+ 2	+ 11	+ 6	− 3	−
	»	1^{20} p	+ 59	+ 53	+ 36	+ 20	16	+ 33	+ 31	+ 26	+ 23	+ 26	+ 22	+ 10	− 3				
	»	2^{00} p	+ 36	+ 29	+ 17	+ 12	17	+ 37	+ 34	+ 28	+ 24	− 1	− 5	− 11	− 12				
	»	4^{00} p	+ 36	+ 32	+ 7	− 7	17	+ 16	+ 15	+ 10	+ 7	+ 20	+ 17	− 3	− 14				
	15	1^{00} p	+ 53	+ 17	+ 12	+ 12	15	+ 26	+ 24	+ 22	+ 19	+ 27	− 7	− 10	− 7	+ 27	− 7	− 10	− 7
	16	7^{00} a	− 36	− 36	− 48	− 46	16	− 17	− 16	− 16	− 14	− 19	− 20	− 32	− 32				
	»	8^{30} a	− 26	32	− 36	− 42	18	− 38	− 35	− 29	− 26	+ 12	+ 3	− 7	− 16	− 3	− 6	− 18	− 22
	»	10^{00} a	− 20	− 20	− 23	− 23	18	− 33	− 31	− 23	− 19	+ 13	+ 11	0	− 4				
	»	12^{05} p	− 23	− 23	− 34	− 34	16	− 6	− 5	− 2	0	− 17	− 18	− 32	− 34				
	18	6^{40} a	+ 17	+ 17	− 7	− 12	14	+ 20	+ 18	+ 12	+ 9	− 3	− 1	− 19	− 21				
	»	8^{05} a	− 12	− 17	− 20	− 20	14	− 3	− 3	− 5	− 6	− 9	− 14	− 15	− 14				
	»	9^{50} a	− 23	− 20	− 23	− 29	16	− 31	− 29	− 25	− 22	+ 8	+ 9	+ 2	− 7	+ 1	+ 2	− 5	− 6
	»	11^{45} a	− 12	0	− 7	0	15	− 29	− 27	− 20	− 18	+ 17	+ 27	+ 13	+ 18				
	»	1^{40} p	− 20	− 23	− 29	− 26	15	− 9	− 8	− 4	− 3	− 11	− 15	− 25	− 23				
	»	3^{35} p	+ 23	+ 23	+ 29	+ 23	11	+ 18	+ 17	+ 15	+ 13	+ 5	+ 6	+ 14	+ 10				

Tabelle 6.
Salzgehaltmessungen an Station A.

Monat	Datum	Uhr von	Uhr bis	Beobachteter Salzgehalt 0	1	2	3	4	5	Schwankung des Salzgehaltes mit der Gezeit 0	1	2	3	4	5	Stationärer Wert des Salzgehaltes 0	1	2	3	4	5	Mittel des stationären Salzgehaltes 0	1	2	3	4	5
1916 August	11	8^{00} a	8^{40} a	5,6	5,8	9,1	11,3	11,9	12,1	+ 1,4	+ 1,4	+ 3,1	+ 3,2	+ 2,0	+ 1,6	4,2	4,4	6,0	8,1	9,9	10,5	4,1	4,3	5,6	7,2	9,6	10,4
	»	1^{40} p	2^{15} p	3,1	3,3	3,1	4,6	8,0	9,1	− 0,9	− 0,9	− 2,0	− 1,8	− 1,2	− 1,1	4,0	4,2	5,1	6,4	9,2	10,2						
	12	7^{40} a	8^{15} a	5,1	5,3	8,6	10,3	11,1	11,7	+ 1,1	+ 1,0	+ 2,2	+ 1,7	+ 1,4	+ 1,1	4,0	4,3	6,4	8,6	9,7	10,6						
	»	11^{30} a	12^{00} m	4,2	4,8	7,4	10,6	11,6	12,7	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,3	+ 2,1	+ 0,7	+ 0,5	3,8	4,2	6,1	8,5	10,9	12,2	4,0	4,3	6,0	8,3	11,1	12,1
		1^{15} p	1^{45} p	3,5	3,7	4,2	7,8	9,9	10,2	− 0,8	− 0,7	− 1,5	− 1,2	− 1,0	− 0,8	4,3	4,4	5,7	9,0	10,9	11,0						
	»	4^{45} p	5^{15} p	3,2	3,4	4,1	4,7	11,9	13,6	− 0,6	− 0,8	− 1,7	− 2,4	− 1,0	− 0,9	3,8	4,2	5,8	7,1	12,9	14,5						
	14	9^{25} a	9^{45} a	5,3	5,4	8,0	9,9	10,4	10,8	+ 1,0	+ 0,9	+ 2,3	+ 2,0	+ 1,4	+ 1,3	4,3	4,5	5,7	7,9	9,0	9,5	4,2	4,4	5,7	7,9	9,2	10,0
	»	3^{00} p	3^{30} p	3,4	3,6	4,5	6,8	8,7	9,7	− 0,7	− 0,6	− 1,2	− 1,1	− 0,8	− 0,7	4,1	4,2	5,7	7,9	9,5	10,4						
	16	9^{00} a	9^{35} a	3,7	3,8	4,6	6,1	6,7	7,9	+ 0,1	0,0	− 0,1	− 0,8	0,0	0,0	3,6	3,8	4,7	6,9	6,7	7,9	3,7	4,0	5,1	6,4	7,1	8,6
	»	1^{05} p	1^{30} p	4,5	5,0	7,3	8,0	8,6	10,1	+ 0,7	+ 0,9	+ 1,8	+ 2,2	+ 1,1	+ 0,8	3,8	4,1	5,5	5,8	7,5	9,3						
	18	8^{40} a	9^{00} a	2,2	2,3	2,4	4,2	6,8	8,8	− 1,0	− 1,1	− 2,3	− 2,8	− 1,3	− 1,2	3,2	3,4	4,7	7,0	8,1	10,0	3,0	3,2	3,6	6,3	7,9	9,6
	»	12^{25} p	12^{45} p	3,7	3,7	4,2	7,0	8,8	10,2	+ 0,8	+ 0,7	+ 1,7	+ 1,4	+ 1,1	+ 0,9	2,9	3,0	2,5	5,6	7,7	9,3						

Salzgehaltmessungen wurden von demselben Kahn aus abwechselnd an den beiden Stationen A und C ausgeführt; zwischen zwei solchen Salzgehaltmessungen fanden die Strommessungen an der Station B bei Voer Fährbrücke statt. Die Salzgehaltbestimmungen wurden an Bord mit dem Aräometer ausgeführt. Die Ergebnisse dieser Bestimmungen sind Tabb. 6 und 7 verzeichnet,

Wie aus den Tabb. 5, 6 und 7 ersichtlich, steht nur eine geringe Anzahl von Messungen zur Verfügung, wenn davon die Rede ist, die Perioden auszuschalten, die von der Gezeitenbewegung herrühren, und ich habe es daher bei der Bearbeitung für zweckmässig gehalten, die Konstanten der durch die Gezeitenbewegung hervorgebrachten Wasserstandschwankungen bei Randers zu benutzen.

Tabelle 7.

Salzgehaltmessungen an Station C.

Monat	Datum	Uhr		Beobachteter Salzgehalt						Schwankung des Salzgehaltes mit der Gezeit						Stationärer Wert des Salzgehaltes						Mittel des stationären Salzgehaltes					
		von	bis	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
1916	9	7^{30} a	8^{15} a	7,9	8,0	9,6	13,6		14,9	+ 1,4	+ 2,2	+ 3,8	+ 3,6		+ 0,4	6,5	5,8	5,8	10,0		14,5						
August	»	11^{00} a	11^{30} a	5,1	4,9	5,0	5,4	7,7	13,6	− 1,6	− 1,5	− 1,6	− 2,6	− 2,1	− 0,6	6,7	6,4	6,6	8,0	9,8	14,2	6,8	6,7	7,2	8,8	10,2	14,5
	»	2^{05} p	2^{20} p	4,7	4.7	4,7	4,7	6,3	14,4	− 1,5	− 2,1	− 3,3	− 3,0	− 1,9	− 0,3	6,2	6,8	8,0	7,7	8,2	14,7						
	»	5^{05} p	5^{15} p	8,9	8,7	8,9	10,9	14,0	15,0	+ 0,9	+ 0,8	+ 0,6	+ 1,6	+ 1,5	+ 0,5	8,0	7,9	8,3	9,3	12,5	14,5						
	10	7^{35} a	8^{10} a	9,4	10,2	13,1	14,4	14,9	14,9	+ 2,4	+ 3,1	+ 4,7	+ 4,8	+ 3,1	+ 0,7	7,0	7,1	8,4	9,6	11,8	14,2	6,4	6,7	8,0	10,2	12,4	13,9
	»	11^{45} a	12^{00} m	4,7	5,3	6,5	8.7	11,2	13,1	− 1,1	− 1,0	− 1,0	− 2,1	− 1,7	− 0,5	5,8	6,3	7,5	10,8	12,9	13,6						
	11	9^{40} a	10^{15} a	6,3	6,9	11,4	13,2	13,6	13,7	+ 1,1	+ 1,7	+ 3,2	+ 2,7	+ 1,7	+ 0,2	5,2	5,2	8,2	10,5	11,9	13,5	5,2	5,3	7,6	9,2	11,5	13,4
	»	3^{10} p	4^{10} p	3,9	3,8	4,0	5,3	9,5	13,0	− 1,2	− 1,6	− 3,0	− 2,7	− 1,6	− 0,2	5,1	5,4	7,0	8,0	11,1	13,2						
	12	9^{20} a	9^{50} a	7,2	10,1	13,8	14,6	14,9	15,0	+ 2,0	+ 2,7	+ 4,1	+ 4,2	+ 2,6	+ 0,5	5,2	7,4	9,7	10,4	12,3	14,5	5,6	7,2	9,2	12,1	13,3	15,2
	»	2^{50} p	3^{15} p	4,0	4,4	4,9	9.6	11,6	15,4	− 2,1	− 2,5	− 3,8	− 4,2	− 2,7	− 0,6	6,1	6,9	8,7	13,8	14,3	16,0						
	14	7^{30} a	8^{00} a	6,6	7,2	8,5	11,2	12,5	12,8	+ 1,1	+ 0,8	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,5	+ 0,6	5,5	6,4	8,0	9,4	11,0	12,2						
	»	12^{15} p	12^{45} p	5,3	7,4	10,7	12,7	12,9	13,1	+ 0,5	+ 0,9	+ 2,0	+ 1,1	+ 0,5	0,0	4,8	6,5	8,7	11,6	12,4	13,1	5,3	6,4	8,3	10,5	12,2	12,9
	»	4^{15} p	4^{25} p	3,8	4,3	4,9	7,2	11,0	12,8	− 1,7	− 2,1	− 3,2	− 3,3	− 2,2	− 0,5	5,5	6,4	8,1	10,5	13,2	13,3						
	16	7^{35} a	8^{07} a	4,2	4,3	5,0	7,2	8,3	9,3	− 0,3	− 0,9	− 1,8	− 1,0	− 0,3	− 0,3	4,5	5,2	6,8	8,2	8,6	9,6	4,4	4,6	5,6	7,0	8,2	9,8
	»	10^{30} a	10^{55} a	6,1	6,1	7,1	9,1	10,1	10,5	+ 1,8	+ 2,0	+ 2,8	+ 3,3	+ 2,3	+ 0,5	4,3	4,1	4,3	5,8	7,8	10,0						
	18	7^{05} a	7^{35} a	2,9	3,1	3,4	6,0	9,2	12,1	− 2,1	− 2,5	− 3,9	− 4,0	− 2,7	− 0,6	5,0	5,6	7,3	10,0	11,9	12,7						
	»	10^{15} a	10^{45} a	4,2	4.5	5,7	11,7	14,0	14,1	+ 0,4	+ 0,1	− 0,3	+ 0,6	+ 0,7	+ 0,3	3,8	4,4	6,0	11,1	13,3	13,8	4,7	5,1	6,2	9,7	12,4	13,6
	»	2^{45} p	3^{15} p	5,9	6,3	7,2	9,7	12,8	14,3	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,7	+ 0,9	+ 0,1	5,3	5,2	5,3	8,0	11,9	14,2						

In der Periode, aus der Strommessungen an Stat. B vorliegen, wurde die Wasserstandschwankung im Hafen von Randers unter der Voraussetzung berechnet, dass die Konstanten dieselben seien wie die für Aarhus geltenden (siehe S. 24), und das Endergebnis wurde durch Kurven dargestellt, die sich durch eine Summation einer Reihe von Sinusgliedern ergaben.

Für ein kurzes Zeitintervall, z. B. 12 Stunden, wird man mit genügender Annäherung die Schwankung des Wasserstandes mit der Zeit durch zwei periodische Funktionen ausdrücken können, die bzw. die Perioden 12.5 Stunden und 25.0 Stunden haben. Man kann dann den Wasserstand ausdrücken durch

$$h = h_0 \cos k\,(t - \psi) + h'_0 \cos \frac{k}{2}\,(t - \psi') \qquad (1)$$

wo t die in Stunden angegebene Zeit und h_0, h'_0, ψ und ψ' Grössen bezeichnen, die innerhalb des betrachteten Zeitintervalles als konstant betrachtet werden können; k wird $= \frac{2\pi}{12.5}$ gesetzt.

Wie man in der Weise imstande ist, für einen kurzen Zeitraum den Wasserstand durch die Summe von einer halbtägigen und einer ganztägigen Periode auszudrücken, muss man mutmasslich in betreff des Stroms in derselben Weise verfahren können, und ich werde bei der hier auszuführenden Behandlung des Strommessungsmaterials Konstanten von der gezeichneten Kurve des Wasserstandes dazu benutzen,

die Abhängigkeit des Gezeitenstroms von der Zeit unter gewissen Voraussetzungen zu berechnen. Für eine sich im offenen Meere frei bewegende Gezeitenwelle tritt, wie bekannt, das Maximum von Strom und Wasserstand gleichzeitig ein; anders verhält es sich in der Nähe einer Küste. Betrachten wir einen Fjord von solchen Dimensionen, dass der Wasserstand darin zu derselben Zeit an allen Orten derselbe ist, wird der Strom bei der Fjordmündung ins Meer sein Maximum um ein Viertel der Schwingungszeit der Welle nach dem Zeitpunkt des Maximalwasserstandes erreichen. Die Verhältnisse im Randersfjord lassen sich, wie bereits S. 25 und 29 erwähnt, sehr nahezu mit diesem letztgenannten Falle vergleichen, indem mit einem mittleren Wasserstand gerechnet wird, der sein Maximum ein wenig früher erreicht, als der Wasserstand bei Randers das seinige. Ich nehme sodann an, dass der auswärtsgehende Strom bei Mellerup sich in drei Glieder auflösen lässt, eins, das in der betrachteten Periode als konstant gelten kann, ein zweites mit der Periode 12.5 Stunden und Strommaximum etwa $\frac{12.5}{4}$ Stunden nach dem Wasserstandmaximum der halbtägigen Periode und ein drittes mit der Periode 25 Stunden und Strommaximum etwa $\frac{25}{4}$ Stunden nach dem Wasserstandmaximum der ganztägigen Periode.

Da man aber nicht davon ausgehen kann, dass die Verhältnisse so einfach liegen, dass der Phasenunterschied zwischen dem mittleren Wasserstand bei Randers—Mellerup und dem Strom bei Mellerup gerade 90 ° beträgt, bezeichne ich durch τ = ca. 3.1 Stunden die Zeit, welche für die halbtägige Welle vom Eintreten des Maximalwasserstandes bei Randers bis zum Eintreten des Maximalstromes bei Mellerup verstreicht, und durch $2(\tau + \alpha)$ = ca. 6.2 Stunden die Zeit, welche für die ganztägige Welle vom Eintreten des Maximalwasserstandes bei Randers bis zum Eintreten des Maximalstromes bei Mellerup verstreicht.

Ist das erste konstante Glied des Stromes a und nehmen wir an, dass der Strom der Periode von etwa 12 Stunden sich der Wasserstandformel analog durch

$$s = a + s_0 \cos k\ (t - \varphi) + s'_0 \cos \frac{k}{2}(t - \varphi') \tag{2}$$

ausdrücken lässt, so setze ich ferner als für jeden Zeitpunkt des betreffenden Intervalls geltend

$$\varphi - \psi = \tau \tag{3}$$

$$\varphi' - \psi' = 2(\tau + \alpha) \tag{4}$$

und weiter

$$s_0 = c \cdot h_0 \tag{5}$$

$$s'_0 = \frac{c}{2} \cdot h'_0 \tag{6}$$

indem angenommen wird, dass die Verhältnisse der Konstanten s_0, h_0 und s'_0, h'_0 im umgekehrten Verhältnis zu der Zeit stehen, in der die Schwankung des Wasserstandes stattfindet.

Rechnen wir die Zeit vom Zeitpunkt einer Strombeobachtung aus, und bezeichnen wir den beobachteten Strom durch s_3, so haben wir

$$s_3 = a + s_0 \cos k\,\varphi + s'_0 \cos \frac{k}{2}\varphi'.$$

Mittels (3) und (4) ergibt sich hieraus

$$s_3 = a + s_0 \cos k\,(\psi + \tau) + s'_0 \cos \frac{k}{2}(\psi' + 2(\tau + \alpha))$$

oder

$$s_3 = a + s_0 \cos k\tau \cos k\,\psi - s_0 \sin k\tau \sin k\,\psi + s'_0 \cos k\,(\tau + \alpha) \cos \frac{k}{2}\psi' - s'_0 \sin k\,(\tau + \alpha) \sin \frac{k}{2}\psi'.$$

Da die Amplitude der ganztägigen Periode im Verhältnis zu der der halbtägigen Periode nur klein ist, und da α wahrscheinlich nur klein ist (von der Grössenordnung $^1/_2$ Stunde), setze ich $\alpha = 0$ und erhalte dann bei Benutzung von (5) und (6)

$$s_3 = a + c\cos k\tau\left(h_0\cos k\psi + \frac{h_0'}{2}\cos\frac{k}{2}\psi'\right) - c\sin k\tau\left(h_0\sin k\psi + \frac{h_0'}{2}\sin\frac{k}{2}\psi'\right) \quad (7)$$

Die parenthetischen Glieder dieses Ausdrucks finden wir leicht durch Ablesen der Ordinaten der berechneten Wasserstandkurve zu den Zeitpunkten t gleich bzw. — 6.2, — 3.1, 0, 3.1 und 6.2 Stunden, indem mit dem Zeitpunkt der Strombeobachtung als Ausgangspunkt gerechnet wird.

Nennen wir diese Ordinaten bzw. h_1, h_2, h_3, h_4, und h_5, hat man mittels (1), indem $k = \frac{2\pi}{12\,5}$ ist,

$$\begin{aligned}
h_1 &= -h_0\cos k\psi - h_0'\sin\frac{k}{2}\psi' \\
h_2 &= -h_0\sin k\psi + h_0'\cdot\sqrt{\tfrac{1}{2}}\left(\cos\frac{k}{2}\psi' - \sin\frac{k}{2}\psi'\right) \\
h_3 &= h_0\cos k\psi + h_0'\cos\frac{k}{2}\cdot\psi' \\
h_4 &= h_0\sin k\psi + h_0'\sqrt{\tfrac{1}{2}}\left(\cos\frac{k}{2}\psi' + \sin\frac{k}{2}\psi'\right) \\
h_5 &= -h_0\cos k\psi + h_0'\sin\frac{k}{2}\psi'
\end{aligned} \quad (8)$$

Hieraus erhält man:

$$\begin{aligned}
h_0\cos k\psi &= h_3 - \frac{h_2 + h_4}{\sqrt{2}} \\
h_0\sin k\psi &= \frac{h_4 - h_2}{2} - \frac{h_5 - h_1}{2\sqrt{2}} \\
\tfrac{1}{2}h_0'\cos\frac{k}{2}\psi' &= \frac{h_2 + h_4}{2\sqrt{2}} \\
\tfrac{1}{2}h_0'\sin\frac{k}{2}\psi' &= \frac{h_5 - h_1}{4}
\end{aligned} \quad (9)$$

indem h_1, h_2, h_3, h_4 und h_5 ausserdem durch die Gleichung $h_1 + h_5 = (h_2 + h_4)\sqrt{2} - 2h_3$ verbunden sind.

Setzen wir diese Werte in die Formel (7) ein, so haben wir

$$s_3 = a + \left(h_3 - \frac{h_2 + h_4}{2\sqrt{2}}\right)c\cos k\tau + [\tfrac{1}{2}(h_2 - h_4) - 0{,}104\,(h_1 - h_5)]\cdot c\sin k\tau \quad (10)$$

Nach den angegebenen Voraussetzungen wird $h_1 - h_5$ allein von der ganztägigen Periode des Wasserstandes abhängig sein, und da diese bei Aarhus nur eine Amplitude von 3.2 cm hat und wir damit gerechnet haben, dass sie im Hafen von Randers dieselbe Grösse hat, beträgt der grösste Wert, den das Glied $0.104\,(h_1 - h_5)$ haben kann, 0,66 cm.

Wegen der Genauigkeit, zu der man es hier bringen kann, wird es daher genügen,

$$s_3 = a + \left(h_3 - \frac{h_2 + h_4}{2\sqrt{2}}\right)c\cos k\tau + \frac{h_2 - h_4}{2}\cdot c\sin k\tau \quad (11)$$

zu setzen. Zur Bestimmung der in diese Formel eingehenden Konstanten a, $c\cos k\tau$ und $c\sin k\tau$ hat man nun so viele Gleichungen, wie Strombeobachtungen vorliegen, indem wir davon ausgehen, dass die Schwankung des Wasserstandes vollkommen bekannt ist.

Wenn die genannten Konstanten gefunden sind, kann man mittels derselben und der Gleichungen (2), (3), (4), (5) und (6) den Gezeitenstrom s – a durch

$$s - a = c\,h_0\cos k\,(t - \psi - \tau) + \frac{c}{2}h_0'\cos\frac{k}{2}(t - \psi' - 2\,(\tau + \alpha))$$

ausdrücken.

Berücksichtigt man nur das erste Glied, wird man die Schwankung des Stroms mit der Zeit durch die Wasserstandkurve darstellen können, indem man den Massstab der Abszissenachse um τ Stunden

in der Richtung der negativen Stunden und den Massstab der Ordinatenachse im Verhältnis c vermindert; diese Uebereinstimmung zwischen den beiden Kurven hört auf, wenn auch das zweite Glied berücksichtigt wird.

Bei der Bestimmung der Konstanten a, $c \cos k\tau$ und $c \sin k\tau$ in Gleichung (11) auf Grund des vorliegenden Beobachtungsmaterials darf man nicht damit rechnen, dass die den stationären Strom bezeichnende Konstante a während der ganzen Beobachtungsperiode dieselbe gewesen ist. Selbst bei der recht ruhigen Witterung können die Anstauung des Wassers im Kattegat und Veränderungen des Barometerstandes Abänderungen des stationären Stroms verursacht haben. Ich habe es daher für am richtigsten gehalten, den stationären Strom nur in der Zeit zwischen zwei Beobachtungen an ein und demselben Tage als konstant zu betrachten, und habe daher aus den vorliegenden Gleichungen der Form (11) neue Gleichungen gebildet, die sich als

$$\Delta s_3 = \Delta \left(h_3 - \frac{h_2 + h_4}{2\sqrt{2}} \right) c \cos k\tau + \Delta \left(\frac{h_2 - h_4}{2} \right) \cdot c \sin k\tau \qquad (12)$$

schreiben lassen, wo Δ den Zuwachs bezeichnet, den die ihm nachstehende Grösse in der Zeit von einer Beobachtung zur nächsten Beobachtung desselben Tages erleidet.

Tabelle 8.

Tiefe	Salzgehalt an Stat. A			Strom bei Mellerup			Salzgehalt an Stat. C		
	C	ϑ Stunden	$k\vartheta$ Grad	c	τ Stunden	$k\tau$ Grad	C	ϑ Stunden	$k\vartheta$ Grad
0	0,071	0,60	17,2				0,118	— 0,36	— 10,3
1	0,075	0,71	20,4	2,24	3,72	107,2	0,142	— 0,09	— 2,5
2	0,160	0,51	14,7	2,11	3,71	106,7	0,214	0,19	5,4
3	0,185	0,87	25,1	1,71	3,48	100,1	0,227	— 0,42	— 12,0
4	0,101	0,23	6,4	1,45	3,43	98,5	0,154	— 0,81	— 23,4
5	0,085	0,15	4.2				0,039	— 1,52	— 43,8

Mittels des Systems von Gleichungen der Form (12), die man in der Weise erhält, wurden dann die Grössen $c \cos k\tau$ und $c \sin k\tau$ durch Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Aus den in der Weise gefundenen Werten von $c \cos k\tau$ und $c \sin k\tau$ wurden die Werte von c und τ berechnet. Diese sind Tab. 8 in der mittleren Abteilung verzeichnet.

Von der Amplitude des Wasserstandes bei Randers h_0 ist nach dem gewählten Verfahren nicht zu erwarten, dass sie in den verschiedenen Fällen konstant ist; der zu den verschiedenen Zeitpunkten der Strommessungen gehörende Wert der Amplitude ist Tab. 5 verzeichnet; die Berechnung fand statt mittels der Formel

$$h_0^2 = \left(h_3 - \frac{h_2 + h_4}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{h_1 - h_2}{2} \right)^2$$

die man, indem man vom Gliede $\frac{h_5 - h_1}{2\sqrt{2}}$ absieht, aus den beiden ersten Gliedern der Gleichungen (9) erhält.

Wie man sieht, sind die gefundenen Werte von h_0 bedeutend grösser als die für die Gezeitenwelle M_2 geltende Amplitude 13.6 cm; dies stimmt damit überein, dass es am 13. August, also mitten in der vorliegenden Beobachtungsperiode, Vollmond war; ein Teil der gefundenen Amplitude rührt von der Sonnenwelle S_2 her.

Der mittlere Wert der gefundenen Werte von h_0 ist 17 cm, und indem wir diesen mittleren Wert als für den ganzen Zeitraum geltend betrachten, ergibt sich mittels der Formel (5) die Amplitude der in

der Beobachtungsperiode vorherrschenden halbtägigen Periode als gleich 17. c. Ihr Maximum tritt nach Tab. 8 τ Stunden (von 3.43 bis 3.72 Stunden) später ein als der Maximalwasserstand bei Randers. Für die verschiedenen Tiefen hat man also:

Tiefe	Amplitude des Stromes der halbtägigen Periode cm/sec	Die vom Wasserstandmaximum bei Randers bis zum Strommaximum bei Mellerup verstrichene Zeit
1	38	3.7
2	36	3.7
3	39	3 5
4	25	3.4

Unter der Voraussetzung, dass das Wasser sich gleichzeitig an allen Orten in der Längsrichtung des Fjords innerhalb des betrachteten Gebiets mit derselben Geschwindigkeit bewegt, werden die Entfernungen, um die die Wasserteile aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt werden, demgemäss die folgenden sein:

Tiefe (m)	1	2	3	4
Maximale Entfernung von der Gleichgewichtslage (km)	2.7	2.6	2.1	1.8

Wie bereits bemerkt, war die Gezeitenbewegung besonders stark, weil die Beobachtungszeit in die Nähe des Vollmonds fiel. Wird nur die M_2-Periode berücksichtigt, deren Wasserstandamplitude zu 13.6 cm angesetzt wird, erhalten wir untenstehende Werte der Amplitude des Stroms und der Strecke, um welche die Wasserteile wegen des Stroms aus der Gleichgewichtslage entfernt werden. Setzen wir ferner wie früher die Phase der Wasserstandwelle M_2 bei Randers $= 302^0$ in Relation zum fiktiven Stern, erhält die Phase des auswärtsgehenden Stroms bei Mellerup die angeführten Werte.

Gezeitenstrom M_2 bei Mellerup (positiv auswärts):

Tiefe	Amplitude cm/sec	Phase	Entfernung der Wasserteile von der Gleichgewichtslage wegen des Gezeitenstroms M_2 km
1	30	49^0	2.2
2	29	49^0	2.0
3	23	42^0	1.6
4	20	40^0	1.4

Vergleicht man die auf Grund der Strombeobachtungen gefundenen Amplituden des Stroms bei Mellerup mit den S. 29 auf Grund des Flächeninhalts des Fjords und des Querschnitts bei Mellerup berechneten Werten, ergibt es sich, dass die beobachtete Stromamplitude in den oberen Schichten etwa $^3/_2$mal so gross ist wie die berechnete mittlere Amplitude; dagegen stimmt die beobachtete Amplitude des Stroms in der Tiefe mit dem berechneten mittleren Strom überein. Infolgedessen ist zu erwarten, dass der Gezeitenstrom über den seichteren Teilen des Fjords im Querschnitt bei Mellerup bedeutend kleiner ist als der mittlere Wert, was sicherlich auch der Fall ist.

Nach dieser Klarlegung der Gezeitenstromverhältnisse bei Mellerup gehe ich zur Berechnung des »stationären Stroms« über, von dem, wie bereits erwähnt, zu erwarten ist, dass er innerhalb kurzer Zeitintervalle konstant ist.

Mittels der Gleichung (11), die sich schreiben lässt als

$$s_3 - a = \left(h_3 - \frac{h_2 + h_4}{2\sqrt{2}}\right) c \cos k\tau + \frac{h_2 - h_4}{2} c \sin k\tau$$

kann man den ausgeglichenen Wert $(s_3 - a)$ des Gezeitenstroms im Beobachtungsaugenblicke finden, indem die rechte Seite der Gleichung bekannt ist. In der Weise wurden die unter »Gezeitenstrom« in Tab. 5 verzeichneten Werte von $s_3 - a$ berechnet.

Indem man dann diese ausgeglichenen Werte des Gezeitenstroms von den beobachteten Strömen

s_3 abzieht, findet man den augenblicklichen Wert des stationären Stroms. Dieser Wert ist unter der Bezeichnung »Stationärer Strom« in Tab. 5 angeführt.

Eine Betrachtung der den stationären Strom angebenden Zahlen scheint anzudeuten, dass mitten am Tage an der Oberfläche ein etwas stärkerer Strom geherrscht hat als morgens und abends; wenn dies der Fall ist, ist die Erklärung davon vielleicht in regelmässigen Schwankungen der Windverhältnisse im Laufe des Tages zu suchen; im übrigen scheinen aber die den stationären Strom angebenden Zahlen nicht in gesetzmässiger Weise zu schwanken.

Der Unterschied zwischen zwei aufeinander folgenden Werten, der unseren Voraussetzungen gemäss gering sein sollte, ist so gross, dass man danach den mittleren Fehler einer einzelnen Strombeobachtung zu 10—15 cm/sec ansetzen würde, was bei dem befolgten Verfahren auch nicht als besonders viel bezeichnet werden kann, wenn es auch etwas mehr ist, als was der mittlere Fehler bei Strommessungen mit dem Libellenstrommesser zu betragen pflegt. Sicherlich rührt ja auch ein Teil der Abweichung von Unregelmässigkeiten der Naturverhältnisse her, die nicht klarzulegen sind; um aber die davon herrührende Ungenauigkeit nach Möglichkeit zu eliminieren, werde ich mich bei der folgenden Erörterung des Wasserumsatzes, soweit dies möglich ist, an gleichzeitige Beobachtungen von Strom und Salzgehalt halten. Deswegen werden nur Beobachtungen von $^{11}/_{8}$, $^{12}/_{8}$, $^{14}/_{8}$, $^{16}/_{8}$ und $^{18}/_{8}$ benutzt, und für jeden dieser Tage werden mittlere Zahlen gebildet, denen bei der Bildung der endgültigen Mittel dasselbe Gewicht zugeteilt wird.

Tabelle 9.

Tiefe	Mittelwerte des Stromes (cm/sec) bei Mellerup positiv gegen das Kattegat hin	Mittlerer Salzgehalt		$1000(\rho-1)$		$1000\,\Delta\rho$	$10^8 \cdot \frac{d\rho}{dx}$	$10^6 \cdot \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$	$10^4 \cdot \int_0^z dz \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$	$\frac{du}{dz}$	μ_u	$10^5 \cdot \frac{dS}{dx}$	$u \cdot 10^5 \cdot \frac{dS}{dx}$	$10^3 \cdot \int_0^z u \cdot \frac{dS}{dx} \cdot dz$	$10^2 \cdot \frac{dS}{dz}$	μ_s
		A	C	A	C											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	(9,5)	3,80	5,04	2,95	3,90	0,95	0,42	0,00	0,00			0,56	(5,3)	0		
1	7,4	4,04	5,72	3,13	4,41	1,28	0,57	0,50	0,25	—0,033	(3,5)	0,75	5,6	5,4	0,9	0,6
2	3,0	5,20	7,38	4,02	5,68	1,66	0,74	1,15	1,07	—0,071	2,5	0,98	2,9	9,7	1,8	0,5
3	— 6,6	7,22	9,70	5,56	7,46	1,90	0,85	1,94	2,63	—0,062	2,6	1,11	— 7,3	7,5	2,0	0,4
4	— 9,2	8,98	11,52	6,91	8,84	1,93	0,86	2,80	5,00			1,14	— 10,5	— 1,4	1,5	
5		10,14	12,98	7,79	9,95	2,16	0,97	3,71	8,25			1,28				

Die endgültigen mittleren Zahlen des Stroms, die Tab. 9 Kolumne 2 verzeichnet sind, beruhen somit für jede Tiefe auf 26 Beobachtungen, und für jedes dieser Mittel wird man also den mittleren Fehler zu etwa 2 cm/sec ansetzen können, während die gegenseitige Uebereinstimmung zwischen den Mitteln des Stroms in den verschiedenen Tiefen sicherlich bedeutend grösser ist.

Fig. 14 bringt ein Diagramm der Schwankung des stationären Stroms mit der Tiefe. Bei der angenommenen Form der Kurve kann diese, wie man sieht, bei glattem Verlauf durch die den Strom darstellenden Punkte gezeichnet werden. Für die angenommene Form der Kurve spricht teils, dass der Strom am Boden mutmasslich verschwindend gering ist, teils dass die Kurve an der Oberfläche mutmasslich eine senkrechte Tangente hat[1]). Letzteres wird der Fall sein unter den Voraussetzungen, 1) dass der Wind keinen Tangentialzug auf die Oberfläche des Wassers an Ort und Stelle ausübt, 2) dass das Wasser homogen ist, und 3) dass die Reibung zwischen den Wasserschichten konstant ist. Die erste Bedingung ist bei der vorliegenden Beobachtungsreihe sicherlich als erfüllt zu betrachten, und in betreff der oberen Wasserschichten können auch die beiden letzteren Bedingungen als annäherungsweise erfüllt betrachtet werden.

[1]) J. P. Jacobsen, Beitrag zur Hydrographie der dänischen Gewässer. Medd. fra Komm. for Havunders. Bd. II Nr. 2, S. 73. København 1913.

Auf eine Klarlegung des Zusammenhangs zwischen dem stationaren Strom und der Salzgehaltverteilung hin werde ich nun untersuchen, welchen Abänderungen der Salzgehalt wegen des Gezeitenstroms unterliegt.

Die auswärts- und einwärtsgehende Bewegung des Wassers bewirkt, dass der Salzgehalt an einem bestimmten Orte im Fjord einer ähnlichen Schwankung unterworfen sein wird wie der Wasserstand, so dass der Salzgehalt hoch sein wird beim höchsten Wasserstand, während dem niedrigsten Wasserstand ein niedriger Salzgehalt entsprechen wird. Man muss somit annehmen, dass der Zeitunterschied zwischen dem Eintreten des Maximalwasserstandes und des Maximalsalzgehaltes nur gering ist. Die Amplitude der Schwankung des Salzgehaltes wird natürlicherweise davon abhängen, wie gross am betreffenden Ort die

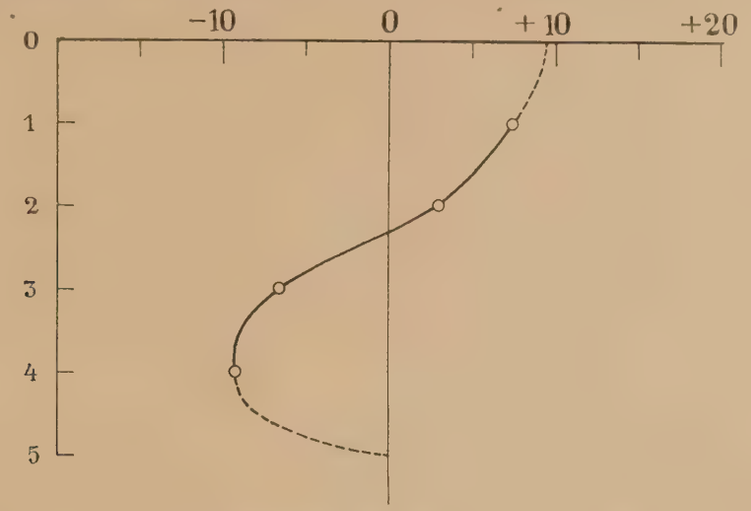

Fig. 14. Mittlere Werte des Stromes in verschiedenen Tiefen an Stat. B auf der Höhe von Voer Fährbücke (Mellerup).

Schwankung des Salzgehaltes in horizontaler Richtung ist. Analog den benutzten annäherungsweisen Ausdrücken von Wasserstand und Strom setze ich

$$S = A + S_0 \cos k\,(t - \chi) + S'_0 \cos \frac{k}{2}\,(t - \chi')$$

wo S_0 und S'_0 die Amplituden der Schwankung des Salzgehaltes bezeichnen; ferner setze ich

$$\chi - \psi = \vartheta$$

$$\chi' - \psi' = 2\,(\vartheta + \beta)$$

sowie $S_0 = C \cdot h_0$

und $S'_0 = C \cdot h'_0$

Man muss also erwarten, dass in diesen Gleichungen ϑ in der Nähe von 0 liegt, und dass die für den betreffenden Ort konstante Grösse C von der horizontalen Salzgehaltgradiente abhängig sein muss.

Bei Benutzung der gezeichneten Kurven des Wasserstandes bei Randers wird man Betrachtungen anstellen können, die denjenigen anolog sind, die bei der Behandlung des Stroms angestellt wurden. Die Zeit soll dann in den einzelnen Fällen von dem Zeitpunkt aus gerechnet werden, wo die Salzgehaltbeobachtung angestellt wurde, und der Gleichung (7) analog hat man dann, wenn $\beta = 0$ gesetzt wird,

$$S_s = A + C \cos k\,\vartheta \left(h_0 \cos k\,\psi + h'_0 \cos \frac{k}{2}\,\psi'\right) - C \sin k\,\vartheta \left(h_0 \sin k\,\psi + h'_0 \sin \frac{k}{2}\,\psi'\right). \qquad (13)$$

welche Gleichung sich in formeller Beziehung nur dadurch von (7) unterscheidet, dass h'_0 hier nicht wie in (7) den Faktor $^1/_2$ hat.

Indem wir nun die Zeit von dem Zeitpunkt aus rechnen, wo die betreffende Salzgehaltbeobachtung

angestellt wurde, und h_1, h_2, h_3, h_4, und h_5 eine der früheren Bedeutung analoge Bedeutung haben lassen, erhält die der Gleichung (10) entsprechende Gleichung die Form

$$S_3 = A + h_3 C \cos k\vartheta + [\tfrac{1}{2}(h_2 - h_4) + 0{,}146(h_1 - h_5)] C \sin k\vartheta. \quad (14)$$

Indem das Glied $0.146 (h_1 - h_5)$ als verschwindend klein betrachtet wird im Verhältnis zu $^1/_2 (h_2 - h_4)$, erhalten wir dann die der Gleichung (11) analoge Gleichung

$$S_3 = A + h_3 \cdot C \cdot \cos k\vartheta + \frac{h_2 - h_4}{2} C \cdot \sin k\vartheta. \quad (15)$$

Ferner hat man die Gleichung

$$S - A = C h_0 \cos k(t - \psi - \vartheta) + C \cdot h'_0 \cos \frac{k}{2}(t - \psi' - 2(\vartheta + \beta)) \quad (16)$$

welche die durch die Gezeiten verursachte periodische Schwankung des Salzgehaltes ausdrückt. Kennt man die 5 Grössen h_1, h_2, h_3, h_4 und h_5, kann man h_0 und h'_0 mittels der Gleichungen (9) berechnen. Im vorliegenden Falle ist h_0 durchaus überwiegend, und zur übersichtsmässigen Berechnung der Schwankung des Salzgehaltes mit dem Gezeitenstrom, benutzte ich den für die Zeitpunkte der Strombeobachtungen gefundenen mittleren Wert von $h_0 = 17$ cm. Die Zeitpunkte der Strombeobachtungen und Salzgehaltbeobachtungen sind ja in diesem Zusammenhang als gleichzeitig zu betrachten.

Unter Benutzung der in den Tabb. 6 und 7 angeführten Beobachtungen des Salzgehaltes findet man durch eine dem Verfahren bei den Strombeobachtungen ganz analoge Ausgleichung die Konstanten $C \cos k\vartheta$ und $C \sin k\vartheta$ bzw. für die Stationen A und C. Die hieraus berechneten Konstanten C und ϑ sind Tab. 8 verzeichnet.

Tabelle 10.

Tiefe	Station A		Station C	
	Amplitude der halbtägigen Periode des Salzgehaltes	Vom Maximalwasserstand in Randers bis zum Maximalsalzgehalt an Stat. A verstrichene Zeit	Amplitude der halbtägigen Periode des Salzgehaltes	Vom Maximalwasserstand in Randers bis zum Maximalsalzgehalt an Stat. B verstrichene Zeit
	‰	Stunden	‰	Stunden
0	1,2	0,6	2,0	— 0,4
1	1,3	0,7	2,4	— 0,1
2	2,7	0,5	3,6	0,2
3	3,1	0,9	3,9	— 0,4
4	1,7	0,2	2,6	— 0,8
5	1,4	0,2	0,7	— 1,5

Dem Behandlungsverfahren bei den Strombeobachtungen analog finden wir sodann die Tab. 10 angeführten Werte der Schwankung des Salzgehaltes mit der Gezeit an den Stationen A und C.

Es ist in die Augen springend, dass die grösste Amplitude des Salzgehaltes sich in den intermediären Tiefen findet. Ferner sieht man, dass das Salzgehaltmaximum an Stat. A durchschnittlich $^1/_2$ Stunde später eintritt als das Wasserstandmaximum bei Randers, während es an Stat. C durchschnittlich $^1/_2$ Stunde früher eintritt als das Wasserstandmaximum bei Randers. Dass an den zwei einander nahegelegenen Stationen ein so grosser Phasenunterschied bestehen kann, muss darin seinen Grund haben, dass die Verhältnisse nicht so einfach sind, dass man sich damit begnügen kann, die Wasserbewegung als eine Parallelverschiebung der Schichten zu betrachten. Station C liegt in dem gegrabenen und verhältnismässig tiefen Kanal nördlich von Mellerup, in welchem die Gezeitenwelle von draussen ziemlich günstige Bedingungen hat, vordringen zu können; westlich von diesem Kanal liegt das alte Fahrwasser des Fjords, das etwa 4 m tief ist; auch dadurch dringt die Welle ein; dies in Verbindung

damit, dass sich bei Mellerup nur ein Wasserlauf findet, kann natürlicherweise Verhältnisse ergeben, die sich nur bei einer eingehenderen Untersuchung berücksichtigen lassen.

Wird aber als erste Annäherung die Betrachtung aufrechterhalten, dass die Wasserschichten sich mit Geschwindigkeiten, die durch den Gezeitenstrom gegeben sind, parallel übereinander hin verschieben, kann man mittels des Gezeitenstroms und der horizontalen Salzgehaltgradiente in der Längsrichtung des Fjords $\frac{dS}{dx}$, die Tab. 9 angeführt ist, eine mittlere Amplitude des Salzgehaltes zwischen den beiden Stationen A und C berechnen. Dazu werden nun die Werte benutzt, die sich für die Entfernung ergaben, um die sich die Wasserteile wegen des Gezeitenstroms aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt haben (S. 35). Sie sind unten in der Kolumne 2 verzeichnet, indem für die Oberfläche bis auf den Wert 2.8 km extrapoliert und für 5 m der Wert 0.5 km benutzt worden ist; letzterer gilt jedoch nur abschätzungsweise.

Tiefe	Entfernung von der Gleichgewichtslage	$10^5 \cdot \frac{dS}{dx}$	Berechnete Amplitude des Salzgehaltes	Mittlerer Wert der gefundenen Amplitude der Salzgehalte an Stat. A und Stat. C.
	km	‰	‰	‰
0	2.8	0.56	1.6	1.6
1	2.7	0.75	2.0	1.8
2	2.6	0.98	2.5	3.2
3	2.1	1.11	2.3	3.5
4	1.8	1.14	2.1	2.2
5	0.5	1.28	0.6	1.0
			Mittel 1.8	Mittel 2.2

Wie man sieht, stimmen die gefundenen und die berechneten Amplituden der obersten und untersten Schichten ganz gut überein; dagegen ist die Uebereinstimmung eine weniger gute in den Tiefen von 2 und 3 m. Man kann die Amplitude der Salzgehaltschwankung mit der Gezeitenwelle zu rund 2 ‰ ansetzen, muss sich aber erinnern, dass dies unter den vorliegenden Umständen gilt, wo die Gezeitenbewegung eine starke war mit einer Amplitude des Wasserstandes bei Randers von 17 cm. Die Salzgehaltamplitude der Mondwelle M_2 mit der Wasserstandamplitude 13.6 cm kann zu $\frac{13{,}6}{17.0} \cdot 2.0 = 1{,}6$ ‰ angesetzt werden.

Nachdem nun die Schwankung des Salzgehaltes mit der Gezeitenbewegung berechnet worden ist, berechne ich dem Verfahren bei den Strombeobachtungen analog den stationären Salzgehalt an den Stationen A und C.

Dazu benutze ich die Gleichung (15), die sich als

$$S_3 - A = h_3 C \cos k\vartheta + \frac{h_2 - h_4}{2} C \sin k\vartheta$$

schreiben lässt und aus der sich die von der Gezeit herrührende Salzgehaltzunahme $S_3 - A$ für die einzelnen Beobachtungszeiten finden lässt; sie ist in den Tabb. 6 und 7 unter »Schwankung des Salzgehaltes mit der Gezeit» angeführt. Durch Subtraktion der in dieser Weise gefundenen Zahlen erhält man dann die eben in den Tabb. 6 und 7 angeführten »stationären« Werte des Salsgehalts.

Eine Betrachtung der Zahlen des stationären Salzgehaltes an den Stationen A und C zeigt, dass derselbe an der Oberfläche einigermassen konstant ist mit einem mittleren Fehler einer einzelnen Beobachtung von etwa 0.3 ‰; in der Tiefe ist der mittlere Fehler etwas grösser, etwa 0.5 ‰, und schliesslich ist der mittlere Fehler einer einzelnen Beobachtung am grössten in der intermediären Schicht, was sich natürlich daraus erklären lässt, dass die Grenzfläche zwischen hohem und niedrigem Salzgehalt aus rein zufälligen Ursachen ihre Lage verändern kann. Der mittlere Fehler des Salzgehaltes der mittleren Schicht scheint an der äussersten Station C am grössten zu sein, was auch wegen der grossen Salzgehalte, die hier herrschen, als wahrscheinlich vorauszusehen war; man kann vielleicht damit rechnen, dass der mittlere

Fehler einer einzelnen Beobachtung des Salzgehaltes der mittleren Schicht zwischen 0.5 und 1.5 ‰ liegt. Da die endgültigen Mittel der Salzgehalte, die Tab. 9 verzeichnet sind, je auf 12 Beobachtungen beruhen, kann man den mittleren Fehler der angeführten Mittel rund zu von 0.1 bis 0.5 ‰ ansetzen; mit den Differenzen der Salzgehalte an Stat. A und Stat. C verglichen, ist er gross, aber bei der anzustellenden Untersuchung der Differenzen des Salzgehaltes an den beiden Stationen und des Stroms zwischen den Stationen ist zu erwarten, dass sich eine etwa vorhandene Uebereinstimmung mit viel grösserer Sicherheit nachweisen lässt, als die abgeschätzten Werte der mittleren Fehler vermuten lassen, da die Messungen der Salzgehalte abwechselnd an den beiden Stationen A und C ausgeführt wurden und die Strommessungen an Station B zwischen den beiden Stationen A und C zu einer zwischen die Beobachtungszeiten für die Stationen A und C fallenden Zeit stattfanden.

Die obige Behandlung des Gezeitenstroms und der damit in Verbindung stehenden Schwankung des Salzgehaltes wurde ausgeführt, zunächst zwecks einer Bestimmung des stationären Stroms. Von den bei der Untersuchung der Gezeitenbewegung gewonnenen Resultaten bemerken wir, dass die Amplitude am Boden kleiner ist als an der Oberfläche, und dass das Maximum zuerst am Boden eintrifft; letzteres gibt sich auch am Salzgehalt zu erkennen. Der zeitliche Unterschied beträgt $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde; meiner Ansicht nach wäre es aber nicht der Mühe wert, eine Berechnung auf einen so geringen und mit wenig Sicherheit bestimmten Unterschied zu begründen.

Dass der Maximalstrom der Gezeitenwelle früher am Boden eintrifft als an der Oberfläche, hat man, wie bekannt, auch an anderen Orten[1]); es beruht ohne Zweifel auf der Veränderung, welche die Gezeitenbewegung durch die Reibung am Boden erleidet; unter dieser Voraussetzung habe ich diese Frage früher behandelt[2]) und die Berechnungen auf Beobachtungen von den Feuerschiffen bei Anholt Knob und Schultz' Grund in Anwendung gebracht.

VII. Der stationäre Strom und die Verteilung des spezifischen Gewichtes; die Vermischung der Wasserschichten; Ausbreitung von pelagischen Organismen durch die Vermischung.

Bei den Berechnungen, die mit den in den Tabb. 5, 6 und 7 angeführten mittleren Zahlen des Stroms bei Mellerup (Stat. B) und mit den Salzgehalten an den Stationen A und C angestellt werden sollen, werde ich mich eines Koordinatensystems bedienen, dessen Z-Achse senkrecht durch Station A geht mit positiver Richtung nach unten und einer Abszissenachse X, die der Geoidenfläche in der Längsrichtung des Fjords parallel liegt mit positiver Richtung gegen das Kattegat hin. Der Nullpunkt des Koordinatensystems soll etwas unter dem Nullpunkt des mittleren Wasserstandes an Station A in dem betrachteten Zeitraum liegen, aber nur um so viel, dass die Abszissenachse zwischen Station A und C gerade unter die mittlere Wasserstandfläche in dem betrachteten Zeitraum zwischen diesen Stationen zu liegen kommt. Wie ich früher gezeigt habe[3]) findet man die Druckverminderung η per Centimeter in der Richtung der Abszissenachse mittels der Formel

$$\eta = -g \cdot \int_0^{z''} \frac{d\rho}{dx} \cdot dz \qquad (17)$$

in der ρ das spezifische Gewicht und z'' die Tiefe bezeichnen, die durch $\frac{d^2u}{dz^2} = 0$ bestimmt ist, indem u

[1]) O. Pettersson, Strömstudier vid Östersjöns portar. Stockholm 1907.
B. Helland-Hansen, Current measurements in 1906. Bergens Musæums Aarbog 1907, Nr. 15, S. 18.

[2]) J. P. Jacobsen, Beitrag zur Hydrographie der dänischen Gewässer. Medd. fra Komm. for Havundersøgelser, Bd. II Nr. 2, S. 91. København 1913.

[3]) l. c. S. 74.

den Strom in der Richtung der Abszissenachse bezeichnet; g ist die Akzeleration bei dem freien Fall 981 cm/sec².

Ferner kann man, wie ich gleichfalls gezeigt habe[1]) η mittels der Formel

$$\eta = -\frac{Q_z'}{z'} \tag{18}$$

bestimmen, wo $Q = g\int_0^z dz \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$ (19)

und z' der Wert von z ist, der aus $\frac{d(\rho u)}{dz} = 0$ gefunden wird.

Bei der letzteren Berechnungsweise wird vorausgesetzt, dass der Wind am Beobachtungsorte keinen Tangentialzug auf die Oberfläche ausübt, welche Bedingung in dem vorliegenden Falle sicherlich mit genügender Annäherung erfüllt wurde.

In dem vorliegenden Falle kann man mit grosser Annäherung den Salzgehalt als einzigen massgebenden Faktor für die Zunahme des spezifischen Gewichts in der Längsrichtung des Fjord betrachten, allerdings war die Temperatur am Boden meist ein wenig niedriger (0.5°—1.0°) als an der Oberfläche, aber unter Voraussetzung der gleichen Schwankung mit der Tiefe an den beiden Stationen ist dies ohne Bedeutung bei der Bestimmung von $\frac{d\rho}{dx}$, und da die beobachteten Temperaturen für den ganzen Zeitraum im Intervall von 16°—18° liegen, benutze ich bei den Berechnungen den Wert des spezifischen Gewichts, den man bei der Temperatur von 17.5° und dem betreffenden Salzgehalt erhält.

In der Weise sind die Tab. 9 angeführten Werte von 1000 (ρ—1) gefunden worden. Die Entfernung zwischen den Stationen A und C ist zu 2230 m angesetzt, und in der Weise sind die angeführten Werte von $10^8 \cdot \frac{d\rho}{dx}$ gefunden worden. Daraus wurden schliesslich die Werte von $10^6 \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$ und $10^4 \int_0^z dz \int_0^z \frac{d\rho}{dx} \cdot dz$ gefunden.

Das auf Grund der mittleren Werte des Stroms gezeichnete Diagramm Fig. 14 zeigt, wie der Strom mit der Tiefe schwankt. Die Wendetangente der Kurve, die die Tiefe, wo $\frac{d^2u}{dz^2} = 0$, angibt, wird danach als in der Tiefe von 2.4 m gelegen betrachtet. Bei Benutzung dieses Wertes von z'' und Interpolation für $\int_0^{z''} \frac{d\rho}{dx} dz$ in Tab. 9 findet man aus (17)

$$\eta = -1{,}44 \cdot 10^{-3} \text{ Dyn/cm.}$$

Zur Bestimmung von η mittels (18) ist eine Bestimmung von z mittels $\frac{d(\rho u)}{dz} = 0$ oder mit genügender Annäherung $\frac{du}{dz} = 0$ erforderlich; die Tiefe, für die diese Bedingung erfüllt ist, und wo die Tangente der Kurve also senkrecht sein soll, ist zu 4 m angesetzt; diese Bestimmung ist wahrscheinlich aber unsicherer als die vorige, da der unterste Verlauf der Kurve unbekannt ist. Setzen wir in der Formel (19) z' = 4, so ergibt sich

$$10^4 \int_0^{z'} dz \int_0^{z'} \frac{d\rho}{dx} \cdot dz = 5.0$$

woraus $\eta = -1.26 \cdot 10^{-3}$ Dyn/cm.

Im folgenden benutze ich $\eta = -1.4 \cdot 10^{-3}$ Dyn/cm. Die dementsprechende Neigung der Oberfläche beträgt auf 1 km 1.4 mm.

Der Reibungskoeffizient μ_u lässt sich nun aus der Formel[2])

[1]) l. c. S. 73 und 75.
[2]) l. c. S. 73.

$$\mu_u = \frac{Q + \eta z - T}{\frac{d\rho u}{dz}}$$

bestimmen, wo $Q = g\int_0^z dz \int_0^z \frac{d\rho}{dx} dz$

und wo T den Tangentialzug des Windes auf die Oberfläche bezeichnet; dieser wird in dem vorliegenden Falle gleich 0 gesetzt, und wenn wir die Werte der übrigen Grössen der Tabelle einsetzen, indem $\frac{d\rho u}{dz}$ gleich $\frac{du}{dz}$ gesetzt wird, finden wir die in der Kolumne (12) Tab. 9 angeführten Werte von μ_u.

Die Grösse μ_u ist ein Ausdruck der Bewegungsmenge, die in einer Zeiteinheit durch eine horizontale Flächeneinheit geführt wird, wenn die Zunahme der Geschwindigkeit der Wasserschichten $u = -1$ per Längeneinheit in senkrechter Richtung ist. Da die Bewegungsmenge so gut wie ausschliesslich durch die vermischenden Wirbelbewegungen von einer Schicht auf die andere übertragen wird, könnte man vermuten, dass man in der Grösse μ_u auch einen Ausdruck der von Schicht zu Schicht stattfindenden Vermischung vor sich hätte, so dass μ_u z. B. auch die Salzmenge ausdrücken würde, die in einer Zeiteinheit durch eine horizontale Flächeneinheit geführt wird, wenn der Zuwachs des Salzgehaltes der Wasserschichten $S = -1$ per Längeneinheit in senkrechter Richtung wäre; dies ist jedoch nicht a priori gegeben, und ich bezeichne daher letztere durch den Salzgehalt definierte Grösse durch μ_S und benenne sie als Vermischungskoeffizienten, während die zuerst definierte Grösse μ_u als Reibungskoeffizient bezeichnet wird. Der Grund dazu, dass μ_S und μ_u verschieden sein können, mag sein, dass die Bewegungsmenge dadurch übertragen werden kann, dass die Schichten teilweise ineinander eindringen, ohne dass eine eigentliche Vermischung stattfindet, die Bewegungsmenge aber doch übertragen wird. Es ist daher anzunehmen, dass der Koeffizient μ_u grösser ist als μ_S, was bei meiner Untersuchung von Strom und Salzgehaltverteilung im Grossen Belt auch der Fall war [1]).

Im vorliegenden Falle, der dem früher behandelten analog ist, kann man setzen.

$$\mu_S \cdot \frac{dS}{dz} = \int_0^z \cdot u \frac{dS}{dx} \cdot dz$$

wodurch μ_s bestimmt wird.

Mittels der in der Tabelle berechneten Werte von $\frac{dS}{dz}$ und $\int_0^z u \frac{dS}{dx} \cdot dz$ finden wir die in der Kolumne (17) Tab. 9 berechneten Werte von μ_S. Wie man sieht, ist μ_S ungefähr 5mal kleiner als μ_u.

Für den Grossen Belt habe ich schon früher das Verhältnis zwischen den beiden Koeffizienten zu ca. 10 angesetzt. Da μ_u in der Tiefe von 1 m wegen der unsicheren Bestimmung von $\frac{du}{dz}$ durch das Diagramm etwas unsicherer bestimmt ist als die übrigen Werte, betrachte ich im folgenden die Werte

$$\mu_u = 2.5$$
$$\text{und } \mu_S = 0.5$$

als die wahrscheinlichsten.

Wie S. 39 erwähnt, ergab die hier angewandte Betrachtung, dass die Schichten sich parallel übereinander hin verschieben, nur eine unvollkommene Uebereinstimmung zwischen dem Gezeitenstrom, der horizontalen Salzgehaltgradiente in der Längenrichtung des Fjords und der Schwankung des Salzgehaltes mit der Gezeit. Obgleich es kaum möglich ist, auf Grund des vorliegenden Materials zu entscheiden, mit welcher Annäherung die angewandte Betrachtung aufrechterhalten werden kann, möchte man es vielleicht doch richtiger finden, die horizontale Salzgehaltgradiente vom Gezeitenstrom und der

[1]) l. c. S. 78.

Salzgehaltschwankung aus zu berechnen og demnächst die so berechnete Gradiente in der oben angegebenen Weise zu benutzen. Tut man das, erhält man statt der in Tab. 9 angeführte Werte von $10^5 \cdot \frac{dS}{dx}$ und $10^3 \int_0^z u \frac{dS}{dx} \cdot dz$

Tiefe (m)	0	1	2	3	4	5
$10^5 \frac{dS}{dx}$:	0.56	0.67	1.23	1.66	1.22	—
$10^3 \int_0^z u \frac{dS}{dx} dz$:	0	5.2	9.5	5.8	—5.3	

Bei Annahme derselben senkrechten Salzgehaltgradiente, wie in Tab. 9 angeführt, erhält man dann

Tiefe (m)	1	2	3	4
μ_s	0.6	0.5	0.3	(—0.3).

In einer Tiefe von 4 m wird μ_s also negativ, wie nach der vorigen Berechnung. Für die oberen Schichten ergibt sich auch auf diesem Weg der Vermischungskoeffizient 0.5.

Wird die aus Gezeitenstrom und Schwankung des Salzgehaltes mit der Gezeit berechnete Gradiente in die zur Berechnung von μ_u benutzten Grössen eingeführt, so ergibt sich die Grösse η, welche die Neigung der Oberfläche ausdrückt $\eta = -1.6 \times 10^{-3}$ Dyn/cm statt $\eta = -1.4 \times 10^{-3}$ Dyn/cm.

Für μ_u ergibt sich bzw. in 2 und 3 m Tiefe $\mu_u = 3.1$ und $\mu_u = 3.2$ statt der in Tab. 9 angeführten Werte von 2.5 und 2.6.

Es zeigt sich also, dass es, wenn die Unsicherheit der bestimmten Grössen auch gross ist, doch berechtigt sein wird, sie mangels besser bestimmter Grössen einer Berechnung des Wasserumsatzes im Fjord zugrunde zu legen, und um zu zeigen, wie eine solche Berechnung sich ausführen lässt, führe ich sie unter gewissen vereinfachenden Voraussetzungen in einem bestimmten Beispiel durch.

Wir nehmen an, dass in einem Wasservolum von der Dicke 0.2 m, der Länge 100 m und der Breite 1 m, dessen Mittelpunkt an Station B, wo die Strommessungen stattfanden, in der Tiefe 2.3 m liegt, derart beschaffene Organismen aufgeschlämmt sind, dass sie die Bewegungen der angrenzenden Wasserteile durchaus mitmachen. Könnte man ihnen nun, ohne an der Vermischung der Wasserschichten in senkrechter Richtung etwas zu verändern, horizontale Geschwindigkeiten verleihen, die den tatsächlichen gleich und entgegengesetzt wären, würde die Vermischung der Schichten bewirken, dass die betrachteten Organismen sich im Laufe der Zeit nach oben und nach unten hin verbreiteten, und wenn die Ausdehnung des Wassers nach oben und unten eine unbegrenzte wäre, könnte man annehmen, dass diese Verbreitung in ähnlicher Weise von statten ginge, wie sich die Wärme in einem unbegrenzten Körper verbreitet (siehe meine frühere Behandlung dieses Problems[1]).

In dem vorliegendenden Beispiel setze ich einfachheitshalber voraus, dass der Vermischungskoeffizient μ_s, mit dem wir in diesem Zusammenhang rechnen müssen, in allen Tiefen derselbe ist, und als Einheiten benutze ich die Länge 20 cm in senkrechter Richtung und 1 Stunde. In diesen Einheiten ausgedrückt ist dann

$$\mu_s = 0.5 \cdot \frac{3600}{20 \times 20} = 4.5$$

indem wir vom mittleren Werte 0.5 der in Tab. 9 angeführten Werte der intermediären Tiefen mit cm, sec. als Einheiten ausgeben.

Bezeichnen wir die Dichte der Organismen der betrachteten Schicht in 2.3 m Tiefe zur Zeit $t = 0$ durch 1, kann man die Dichte q in einer $x \cdot \frac{1}{5}$ Meter davon entfernten Schicht zur Zeit t durch

[1]) J. P. Jacobsen, Hydrographical investigations in Faeroe Waters. Medd. fra Komm. f. Havundersøgelser. Serie Hydrografi Bd. II, Nr. 4. København 1915, S. 27.

$$q_{x,t} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot \mu_s \cdot t}} \cdot e^{-\frac{1}{4\mu_s t} \cdot x^2}$$ [1])

ausdrücken. Aus dieser Formel ergibt sich bei t = 1 Stunde für

x =	0	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8	±9	±10	±11	±12
$q_{x,\ 1\ \text{Stunde}}$ =	0.1330	0.1258	0.1065	0.0806	0.0547	0.0332	0.0180	0.0087	0.0038	0.0015	0.0005	0.0002	0.0000

Vorausgesetzt, dass die Wasserschichten keinen Horizontalverschiebungen ausgesetzt wären, würde man daher nach einer Stunde wegen der Vermischung in 2.3 m Tiefe eine Dichte haben, die 0.1330 von der ursprünglichen betragen würde, während man in 2.1 und 2.5 m Tiefe eine Dichte haben würde, die 0.1258 der ursprünglich in 2.3 m Tiefe vorgefundenen Dichte betragen würde etc. Die Summe der Dichtigkeiten der verschiedenen Schichten nach einer Stunde ergibt sich, wie es auch der Fall sein soll = 1.

Um klarzulegen, wie die Organismen der ursprünglich betrachteten Wasserschicht sich unter dem Einfluss sowohl der vertikalen Vermischungen als der Horizontalverschiebungen verteilen, wurden die gefundenen Dichtigkeiten der verschiedenen Tiefen soweit nach aussen und nach innen im Fjord verschoben, wie die in den Tiefen vorhandenen Ströme sie führen konnten. Bei der Berechnung dieser Verschiebungen fand Abrundung auf ganze Multipla von 100 m statt. Die Wasservolumina von $0.2 \times 100 \times 1$ m, in denen sich nach 1 Stunde eine gewisse berechnete Dichte von Organismen findet, wurde sodann in ähnlicher Weise behandelt wie das ursprüngliche Wasservolum, und so wurde für im ganzen 6 Stunden fortgesetzt; diese Zeit wurde gewählt, weil die Gezeitenströme in dem Zeitraum numerisch alle die Werte gehabt haben, die sie in der betrachteten Periode erhalten.

Bei der im Fjord vorhandenen Vermischungsintensität ergab die Berechnung, dass einige der Organismen des betrachteten Wasservolums in 2.3 m Tiefe bereits im Laufe der ersten Stunden die Oberfläche und den Boden erreichen würden, und es wird somit notwendig sein, die sich daraus ergebende Veränderung der Verteilung zu berücksichtigen. Eine einfache Annahme ist, dass man bei den vermischenden Bewegungen eine spiegelnde Zurückwerfung der verbreiteten Organismen bzw. von der Oberfläche und vom Boden erhält. Ist die Entfernung von der Schicht, von der aus die Organismen sich verbreiten, zur Oberfläche a, kann man unter dieser Voraussetzung die Dichte $Q_{x,t}$, die sich zur Zeit t in der Entfernung x von dem betrachteten Wasservolum findet, durch

$$Q_{x,t} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot \mu_s \cdot t}} \cdot e^{-\frac{1}{4\mu_s t} \cdot x^2} + \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot \mu_s \cdot t}} \cdot e^{-\frac{1}{4\mu_s t} (2a - x)^2}$$

ausdrücken. Wie leicht ersichtlich, hat man durch diese Annahme die Bedingung erfüllt, dass die Summe aller Konzentrationen 1 sein soll, sowie auch die Differentialgleichung

$$\frac{d \cdot Q_{x,t}}{dt} = \mu_s \cdot \frac{d^2 Q_{x,t}}{dx^2}$$

welche in betreff der Verteilung zu jeder Zeit erfüllt sein soll. Ferner ist $\frac{dQ_{x,t}}{dx} = O$ bei $x = a$, wodurch ausgedrückt wird, dass die Menge von Organismen $\mu \cdot \frac{dQ_{x,t}}{dx}$, die während der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit der Oberfläche selbst geführt werden, gleich O ist, was auch mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmt, indem dem Wasser keine Organismen von aussen zugeführt werden.

Die durch Beeinflussung von der Oberfläche und vom Boden her entstandene Veränderung der Verteilung ist daher durch die Annahme einer solchen spiegelnden Zurückwerfung von Oberfläche und Boden aus berücksichtigt worden, und als Resultat der Berechnungen im vorliegenden Falle ergab sich die in Fig. 15 dargestellte Verteilung der Organismen, die sich ursprünglich in dem betrachteten Wasser-

[1]) l. c. S. 31 Formel (15), (16) und (17).

volum von 0.2 × 100 × 1 m in 2.3 m Tiefe fanden. Dies Volum ist in der Figur schraffiert. Wie man aus der Figur ersieht, haben die Organismen sich so stark verbreitet, dass die Dichte etwa 2 km nördlich und südlich von Station B bzw. in der Oberschicht und in der Unterschicht ca. 2 ‰ von der an Station B ursprünglich bestehenden Dichte ausmacht. Das berechnete Dichtigkeitsmaximum beträgt in der Oberschicht 3.3 ‰ und in der Unterschicht 3.0‰. In dem betrachteten Wasservolum selbst in 2.3 m Tiefe wurde die Dichte nach 6 Stunden zu 2.2 ‰ berechnet.

Es kann also bei weitem nicht angenommen werden, dass Organismen, die in einer intermediären Schicht aufgeschlämmt sind, in der der resultierende Strom O ist, längere Zeit dort verweilen. Die vermischenden Bewegungen führen sie teils nach oben, teils nach unten. Die in die obersten Schichten

Fig. 15. Verbreitung von Planktonorganismen durch Strom und Vermischung im Randers Fjord, berechnet für 6 Stunden. Die Figur stellt einen Längsschnitt durch den Fjord dar; die Mitte des Schnittes liegt auf der Höhe von Mellerup. ▨ O bezeichnet den Platz der Organismen vor der Verbreitung, die Kurven die Grenzen der Gebiete, wo die Dichtheit der Planktonorganismen nach der Verbreitung bezw. 2,5, 2.0 und 1.0 ‰ der ursprunglichen Dichtheit bei O beträgt.

gelangenden werden vom auswärtsgehenden Strom in der Oberschicht hinweggeführt; die in die untersten Schichten gelangenden werden vom einwärtsgehenden Strom in den Fjord hineingeführt, gelangen aber wegen der Vermischung gleichfalls in die obersten Schichten und werden dort vom Strom hinweggeführt.

Ähnliche Verhältnisse, wie die hier für den Randersfjord nachgewiesenen, gelten annehmbar auch für die Belte und das Kattegat, und eine nähere Untersuchung würde sicherlich wertvolle Aufschlüsse über den Wasserumsatz in den dänischen Gewässern ergeben.

Uebersicht.

Karten über den mittleren Salzgehalt an der Oberfläche und am Boden von Randersfjord sind dargestellt in den Figg. 7 und 8. Im Hafen von Randers ist der Salzgehalt im allgemeinen O sowohl an der Oberfläche als am Boden, nimmt aber gegen die Mündung des Fjords hin gleichmässig zu. Bei

Ugelhuse beträgt er an der Oberfläche ca. 2 ‰, am Boden ca. 7 ‰, bei Mellerup an der Oberfläche ca. 5 ‰ am Boden ca. 13 ‰ und bei Udbyhøj an der Oberfläche ca. 17 ‰ und am Boden ca. 24 ‰.

Ein Bild von der intermediären Salzgehaltverteilung erhält man aus den Schnitten Figg. 2, 3, 4 und 5, die auf Grund von zu verschiedenen Zeiten angestellten Beobachtungen gezeichnet sind.

Die Salzgehaltverteilung im Randersfjord erinnert an die Salzgehaltverteilung auf der Strecke von der Ostsee bis zum Skagerak und ist ähnlichen Ursachen zuzuschreiben wie diese, namentlich einem auswärtsgehenden Strom an der Oberfläche und einem einwärtsgehenden in der Unterschicht.

Diese Bewegung des Wassers in einander entgegengesetzten Richtungen wurde auf Grundlage einer Reihe von Strommessungen bei Mellerup nachgewiesen. Das den resultierenden Strom in den verschiedenen Tiefen darstellende Diagramm findet sich in Fig. 14. Bis in 2.3 m Tiefe ist der Strom im Mittel auswärtsgehend, unter dieser Tiefe einwärtsgehend.

Der Gezeitenbewegung wegen und auch aus anderen Gründen vermischen sich die Schichten miteinander, und gleichzeitig verschieben sie sich übereinander hin. In Abschnitt VII wurde die Grösse der Vermischung berechnet, und beispielsweise wurde untersucht, wie sich im Wasser schwebende und dessen Bewegung mitmachende Organismen von der Wasserschicht aus verbreiten, wo der resultierende Strom O ist. Das Resultat der Berechnung ist in Fig. 15 angegeben und zu Ende von Abschnitt VII näher besprochen.

Der Aufsatz enthält ausserdem eine Erörterung der Methode zur Bestimmung der Meersalzmenge in einer Probe Brachwasser (Abschnitt IV), eine Untersuchung der Ursachen der Wasserstandschwankung im Hafen von Randers (Abschnitt V) und eine Darstellung der Gezeitenströme und der damit in Verbindung stehenden Salzgehaltschwankungen (Abschnitt VI).

Es wurde u. a. dargetan, dass einer Veränderung des Barometerstandes eine Veränderung des Wasserstandes entspricht (Figg. 10 und 11), und dass der Wind einen massgebenden Einfluss auf den Wasserstand ausübt; nördliche Winde ergeben hohen, südliche Winde niedrigen Wasserstand (Fig 12).

Bd. IV, Nr. 2 JOHS. SCHMIDT: On the identification of Muræenoid larvae. In their early (»Preleptocephaline«) stages. 1 Plate. 1913. 14 p. Kr. 0.75.

» V, » 3 A. STRUBBERG: The metamorphosis of elvers as influenced by outward conditions. Some experiments. 1913. 11 p. Kr. 0.50.

» IV, » 4 A. C. JOHANSEN: Contributions to the biology of the Plaice with special regard to the Danish Plaice-Fishery. VI. On the immigration of plaice to the coastal grounds and fiords on the west coast of Jutland. 1913. 26 p. Kr. 1.00.

» IV, » 5 P. L. KRAMP: Report on the fish eggs and larvæ collected by the Danish research steamer »Thor« in the Langelandsbelt in 1909. With 6 figures in the text. 1913. 39 p. Kr. 1.25.

» IV, » 6 BJARNI SÆMUNDSSON: Continued marking experiments on plaice and cod in Icelandic waters. 7 fig. 1913. 35 p. Kr. 1.25.

» IV, » 7 JOHS. SCHMIDT: On the classification of the freshwater Eels (Anguilla). 1915. 19 p. Kr. 0.75.

» IV, » 8 Ö. WINGE: On the value of the rings in the scales of the Cod as a means of age determination. Illustrated by marking experiments. 1915. 21 p. Kr. 0.75.

» IV, » 9 A. C. JOHANSEN: Contributions to the biology of the Plaice with special regard to the Danish Plaice-Fishery. VII. Marking experiments with Plaice in the North Sea off the west coast of Jutland during the years 1906—1912. 27 fig. 1915. 60 p. Kr. 2.00.

» V, » 1 JOHS. SCHMIDT: Marking experiments with Turtles in the Danish West Indies. 11 fig. 1916. 26 p. Kr. 1.00.

» V, » 2 A. C. STRUBBERG: Marking Experiments with cod at the Færoes. 24 fig. 1916. 126 p. Kr. 4.00.

» V, » 3 A. C. JOHANSEN: Marking Experiments with Sole (Solea vulgaris Quensel) and Turbot (Rhombus maximus L.) in the Kattegat and Baltic Waters. 4 fig. 1916. 18 p. Kr. 0.50.

» 4 JOHS. SCHMIDT: On the early larval stages of the fresh-water Eels (Anguilla) and some other North Atlantic Muræenoids. 14 fig. 4 plates. 1916. 20 p. Kr. 1.75.

» V, » 5 P. JESPERSEN: Contributions to the Life-History of the North Atlantic Halibut (Hippoglossus vulgaris Flem.) 1 plate and 16 fig. 1917. 32 p. Kr. 1.50.

Serie: Hydrografi.

Bd. I, Nr. 1 MARTIN KNUDSEN: On the organisation of the Danish hydrographic researches. 1904. 7 p.

» I, » 2 H. J. HANSEN: Experimental determination of the relation between the freezing point of sea-water and its specific gravity at 0° C. 1904. 10 p.

» I, » 3 N. BJERRUM: On the determination of Chlorine in sea-water and examination of the accuracy with which Knudsen's pipette measures a volume of sea-water. 1904. 11 p. Kr. 1.25.

» I, » 4 J. N. NIELSEN: Hydrography of the waters by the Faroe Islands and Iceland during the cruises of the Danish research steamer "Thor" in the summer 1903. 8 Plates. 1904. 29 p.

» I, » 5 NIELS BJERRUM: On the determination of Oxygen in sea-water. 1904. 19 p. Kr. 3.50.

Bd. I, Nr. 6 MARTIN KNUDSEN: Contribution to the Hydrography of the North Atlantic Ocean. 21 Plates. 13 p. Kr. 5.75.

» I, » 7 J. N. NIELSEN: Contributions to the Hydrography of the waters north of Iceland. 2 Plates. 28 p.

» I, » 8 J. P. JACOBSEN: Die Löslichkeit von Sauerstoff im Meerwasser durch Winklers Titriermethode bestimmt. 1905. 13 S. Kr. 2.00.

» I, » 9 J. N. NIELSEN: Contribution to the Hydrography of the north-eastern part of the Atlantic Ocean. 3 Plates. 1907. 25 p. Kr. 1.75.

» I, » 10 J. P. JACOBSEN: Mittelwerte von Temperatur und Salzgehalt. Bearbeitet nach hydrographischen Beobachtungen in dänischen Gewässern 1880—1907. 11 Tafeln. 1908. 26 S. Kr. 3.50.

» I, » 11 J. N. NIELSEN: Contribution to the understanding of the currents in the northern part of the Atlantic Ocean. 1 Plate. 1908. 15 p. Kr. 0.75.

» I, » 12 J. P. JACOBSEN: Der Sauerstoffgehalt des Meerwassers in den dänischen Gewässern beiderhalb Skagens. 5 Tafeln. 1908. 23 S. Kr. 2.00.

» I, » 13 KIRSTINE SMITH: Gezeitenstroeme bei den Feuerschiffen Vyl und Horns Rev. Mit 4 Textfiguren. 1910. 23 S. Kr. 0.75.

» I, » 14 J. P. JACOBSEN: Gezeitenstroeme und resultierende Stroeme im Grossen Belt in verschiedenen Tiefen im Monat Juni 1909. Mit 7 Figuren im Text. 1910. 19 S. Kr. 0.75.

» II, » 1 MARTIN KNUDSEN: Danish hydrographical investigations at the Faroe Islands in the spring of 1910. 2 Plates. 1911. 17 p. Kr. 1.00.

» II, » 2 J. P. JACOBSEN: Beitrag zur Hydrographie der dänischen Gewässer. 47 Tabellen, 15 Textfiguren. 14 Tafeln. 1913. 94 S. Kr. 6.50.

» II, » 3 J. P. JACOBSEN: Strommessungen in der Tiefe in dänischen Gewässern in den Jahren 1909—1910 und 1911. Mittlere Werte des Stroms und Konstanten der Gezeitenbewegung. 1913. 43 S. Kr. 1.25.

» II, » 4 J. P. JACOBSEN: Hydrographical investigations in Faeroe Waters in 1913. 15 fig. 1915. 47 p. Kr. 1.50.

» II, » 5 J. P. JACOBSEN: Contribution to the Hydrography of the Atlantic. 7 fig. 8 diagrams. 1916. 24 p. Kr. 0.75.

Serie: Plankton.

Bd. I, Nr. 1 OVE PAULSEN: Plankton-Investigations in the waters round Iceland in 1903. 2 Maps. 1904. 41 p.

» I, » 2 C. H. OSTENFELD: On two new marine species of Heliozoa occurring in the Plankton of the North Sea and the Skager Rak. 1904. 5 p. Kr. 2.00.

Bd. I, Nr. 3 Ove Paulsen: On some Peridineæ and Plankton-Diatoms. 1905. 7 p. Kr. 0.25.

" I, " 4 Ove Paulsen: Studies on the biology of Calanus finmarchicus in the waters round Iceland. 3 Plates. 1906. 21 p. Kr. 1.75.

" I, " 5 Ove Paulsen: The Peridiniales of the Danish Waters. 1907. 26 p. Kr. 0.75.

" I, " 6 C. H. Ostenfeld: On the immigration of Rhodalphia sinensis Grev. and its occurrence in the North Sea during 1903—07 and on its use for the study of the direction and rate of flow of the currents. 4 Charts and 5 Text-Figures. 1908. 44 p. Kr. 2.50.

" I, " 7 Aug. Brinkmann: Vorkommen und Verbreitung einer Planktonturbellarie *Alaurina composita* Mecz. in dänischen Gewässern. 12 Figuren und 1 Karte. 1909. 15 S. Kr. 0.50.

Bd. I, Nr. 8 Ove Paulsen: Plankton investigations in the waters round Iceland and in the North Atlantic in 1904. 9 Figures. 1909. 57 p. Kr. 1.75.

" I, " 9 Andreas Otterstrøm: Beobachtungen über die senkrechten Wanderungen des Mysisbestandes in der Ostsee bei Bornholm in den Sommermonaten 1906 und 1907. 1 Fig. 1910. 10 S. Kr. 0.25.

" I, " 10 C. H. Ostenfeld: A revision of the marine species of Chætoceras Ehbg. Sect. Simplicia Ostf. With 24 figures in the text. 11 p.

" I, " 11 J. P. Jacobsen and Ove Paulsen: A new apparatus for measuring the volume of plankton samples by displacement. 6 p. Kr. 0.50.

" I, " 12 P. L. Kramp: Medusæ, Ctenophora and Chætognathi. From the Great Belt and the Kattegat in 1909. 1915. 20 p. Kr. 0.75

SKRIFTER UDGIVNE AF KOMMISSIONEN FOR HAVUNDERSØGELSER

Nr. 1 Johs. Schmidt: Fiskeriundersøgelser ved Island og Færøerne i Sommeren 1903. 10 Tavler. 1904. VI + 148 S. Kr. 5.00. Udsolgt.

" 2 Martin Knudsen: Havets Naturlære. Hydrografi. Med særligt Hensyn til de danske Farvande. 10 Figurer, 4 Tavler. 1905. 41 S. Kr. 1.75. Udsolgt.

" 3 Johan Hjort og C. G. Joh. Petersen: Kort Oversigt over de internationale Fiskeriundersøgelsers Resultater med særligt Henblik paa norske og danske Forhold. 10 Tavler. 1905. 54 S. Kr. 3.50.

" 4 Martin Knudsen, C. G. Joh. Petersen, C. F. Drechsel, C. H. Ostenfeld: De internationale Havundersøgelser 1902—07. 1908. 28 S. Kr. 0.75.

" 5 Bjarni Sæmundsson: Oversigt over Islands Fiske med Oplysning om deres Forekomst, vigtigste biologiske Forhold og økonomiske Betydning. 1 Kort. 1909. 140 S. Kr. 2.25.

Nr. 6 Andreas Otterstrøm: Slidens Afhængighed af forskellige hydrografiske og meteorologiske Forhold i Store Bælt. 2 Textfigurer. 1910. 52 S. Kr. 1.00.

" 7 A. C. Johansen: Om Rødspætten og Rødspættefiskeriet i Belfarvandet med nogle Bemærkninger om de øvrige Flynderarter og Flynderfiskerier i samme Farvand. 23 Tavler. 14 Textfigurer. 1912. 158 Sider. Kr. 3.00.

" 8 Johs. Schmidt: Danske Undersøgelser i Atlanterhavet og Middelhavet over Ferskvandsaalens Biologi. 3 Tavler, 5 Textfigurer. 1912. 38 Sider. Kr. 1.50.